



PROPOSTA METODOLÓGICA E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE  
PROGRAMA DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS EM BACIAS  
HIDROGRÁFICAS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES

Rosiâny Possati Campos

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil.

Orientadores: Marcelo Gomes Miguez

Aline Pires Veról

Assed Naked Haddad


Rio de Janeiro  
Dezembro de 2017

PROPOSTA METODOLÓGICA E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE  
PROGRAMA DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS EM BACIAS  
HIDROGRÁFICAS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES

Rosidny Possati Campos

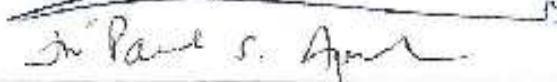
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ  
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

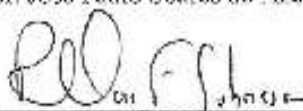
Examinada por

  
Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc.

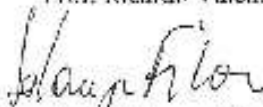
  
Prof.ª Aline Pires Veró, D.Sc.

  
Prof. Assad Nacef Haddad, D.Sc.

  
Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D.

  
Prof.ª Rosa Maria Formiga Johnson, Docteur

  
Prof. Ricardo Valeurcel, D.Sc.

  
Prof.ª Solange Filosa, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ BRASIL

DEZEMBRO DE 2017

Campos, Rosiâny Possati

Proposta metodológica e análise de viabilidade econômica de programa de Pagamento por Serviços Ambientais em bacias hidrográficas para controle de inundações / Rosiâny Possati Campos – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XVIII, 216 p.:il.; 29,7 cm.

Orientadores: Marcelo Gomes Miguez

Aline Pires Veról

Assed Naked Haddad

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 169-187.

1. Controle de inundações. 2. Recuperação da vegetação. 3. Pagamento por Serviços Ambientais. I. Miguez, Marcelo Gomes *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

Aos meus familiares,  
e, em especial, Ricardo Castro Nunes de Oliveira.

## Agradecimentos

A Deus, acima de tudo – “*Tudo posso naquele que me fortalece*” (Filipenses 4:13).

Aos meus orientadores:

- Prof. Flávio Borba Mascarenhas (*in memoriam*) que ousou orientar uma economista no Programa de Engenharia Civil.
- Prof. Marcelo Gomes Miguez que me apoiou desde o primeiro momento nessa caminhada. Você não tem ideia de como suas avaliações, críticas, e sugestões me deixava mais segura!
- Prof<sup>a</sup>. Aline Pires Veról, sempre pronta a ajudar, lendo com atenção o meu texto e o enriquecendo com suas contribuições.
- Prof. Assed, chegou por último, mas me deu uma força incrível, numa fase que eu estava precisando muito de um “empurrãozinho”.

Aos membros da banca – Professores José Paulo Soares, Ricardo Valcarcel, Maria Rosa Formiga e Solange Filoso, que disponibilizaram seu tempo para participar e colaborar para a obtenção desse título. Muito obrigada!

À COPPE/UFRJ, que me proporcionou essa oportunidade incrível!

Aos professores que contribuíram para minha formação, e com muito carinho, à Prof<sup>a</sup>. Roxane Jacobson, que sempre nos ajudou para que nossas apresentações internacionais fossem bem sucedidas.

Aos colegas do LHC/COPPE/UFRJ, em especial, ao Laurent e ao Francis, que me ajudaram com o ArcGIS. À Caroline Jacob, uma querida, que não mediu esforços em colaborar com os dados de sua pesquisa, para que essa tese tivesse consistência. À Fernanda Nagem, que também contribuiu com sua pesquisa e indicação de *papers*.

Ao amigo, Carlos Castro, sempre presente nas visitas de campo para realização do diagnóstico da bacia do Rio Sesmaria.

Ao projeto SERELAREFA, que me deu a oportunidade de conhecer vários casos de renaturalização de rios e proporcionou viagens incríveis de estudo.

Ao Centro para Ciências Ambientais da Universidade de Maryland (UMCES – USA) pela oportunidade de intercâmbio, especialmente, Dave Nemazie e Robert Summers.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro.

Aos funcionários do Programa de Engenharia Civil e aos colegas que estiveram juntos nessa caminhada, em especial, ao Franklin, Marcília, Beth, Márcia e Jairo.

Aos meus familiares, em especial, meu pai (*in memoriam*) que na sua humildade, nos preparou para superar os obstáculos que a vida nos impõe. Minha mãe, sempre tão presente! Minha irmã e meu cunhado pelo suporte por anos, e meu irmão, sempre

disponível para me ouvir e me ajudar. Meus sobrinhos, Patrick, Gabriela e Matheus e as queridas, Raísa e Luiza, que suprem nossa vida com o vigor da juventude, e também, nossa pequena Marina, que faz aflorar nosso lado infantil, que muitas vezes precisamos!

E, por último, não menos importante, ao meu marido, Ricardo. Amor, só nós sabemos como você foi importante nessa caminhada! Seu apoio incondicional nesses anos do doutorado (anos difíceis – por quantas coisas passamos) foi fundamental para eu chegar até aqui.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutora em Ciências (D.Sc.)

PROPOSTA METODOLÓGICA E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE  
PROGRAMA DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS EM BACIAS  
HIDROGRÁFICAS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES

Rosiâny Possati Campos

Dezembro/2017

Orientadores: Marcelo Gomes Miguez

Aline Pires Veról

Assed Naked Haddad

Programa: Engenharia Civil

O crescimento urbano desordenado provoca a ocupação de áreas que deveriam estar protegidas por lei, afetando diretamente os padrões de uso da terra. Ao se desconsiderar a necessidade de preservação do meio ambiente, modifica-se a paisagem natural e o funcionamento dos sistemas naturais, usualmente provocando o agravamento de inundações. O desafio de reverter o quadro de degradação torna necessária a viabilização de soluções. A utilização do instrumento econômico definido como Pagamento por Serviço Ambiental (PSA) pode incentivar a preservação ou a recuperação ambiental, propiciando ações nesse sentido. Este trabalho propõe a utilização de tal instrumento econômico para recuperação e conservação das áreas de interesse ambiental de uma bacia hidrográfica. Tomando-se o funcionamento da faixa fluvial como referência, e através de ações de reflorestamento pode-se promover o serviço ambiental de controle de inundações. Para aplicação da metodologia apresentada, utilizou-se a Bacia do Rio Sesmária, Resende, RJ como estudo de caso, individualizando as ações antrópicas ocorridas ao longo de décadas e as consequências dessa ocupação desordenada na bacia, como o agravamento dos eventos de inundações e a materialização de prejuízos diversos, tanto públicos como privados. A valoração dos prejuízos causados por esses eventos, e que são possíveis evitar ou minimizar em uma dada medida, é utilizada para quantificar os benefícios econômicos com a implantação do PSA. Através deste arranjo, é possível criar condições de financiamento para parar e reverter a degradação da bacia hidrográfica e promover um controle parcial das enchentes, reduzindo prejuízos urbanos.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

METHODOLOGICAL PROPOSAL AND ANALYSIS OF ECONOMICAL  
FEASIBILITY OF PAYMENT PROGRAM FOR ENVIRONMENTAL SERVICES IN  
WATERSHEDE FOR FLOOD CONTROL

Rosiâny Possati Campos

December/2017

Advisors: Marcelo Gomes Miguez

Aline Pires Veról

Assed Naked Haddad

Department: Civil Engineering

Disordered urban growth leads to the occupation of areas that should be protected by law, directly affecting land use patterns. When the need for preservation or conservation of the environment is disregarded, the natural landscape changes and negatively affects the natural systems functions, frequently leading to more severe floods. The challenge of reversing the degradation framework makes it necessary to create feasible solutions. Using the economic instrument defined as Payment for Environmental Service (PES) can encourage the environmental preservation or recovery, enabling actions in this direction. This work proposes the use of this economic instrument for recovering and conserving areas of environmental interest in a river basin. Taking the fluvial space as reference, and through actions of reforestation it is possible to induce the environmental service for flood control. In order to apply the presented methodology, the Sesmaria River Basin (Resende, RJ, Brazil) was used as a case study, individualizing the anthropic actions that have taken place over decades and the consequences of the above mentioned disordered occupation in the basin, leading to the aggravation of the flood events and the consequent public and private losses. The evaluation of the damages caused by such events and that are possible to avoid, or at least to minimize in a given measure, is used to quantify the economic benefits with the implantation of the PES. Through this procedure, it is possible to create financing conditions to stop and reverse the degradation of the river basin and to promote partial control of floods, reducing urban losses.



## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Considerações Gerais</b>	<b>1</b>
1.1.1 <i>Motivações</i>	3
1.1.2 <i>Limitações da pesquisa</i>	5
<b>1.2 Base Conceitual</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Hipótese</b>	<b>11</b>
<b>1.4 Objetivos</b>	<b>11</b>
1.4.1 <i>Objetivo Geral</i>	11
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	12
<b>1.5 Metodologia</b>	<b>13</b>
<b>1.6 Estudo de caso</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Requalificação Fluvial</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Serviços Ambientais</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Instrumentos Econômicos da Política Ambiental</b>	<b>25</b>
2.3.1 <i>Teoria Econômica e Meio Ambiente</i>	25
2.3.2 <i>Instrumentos Econômicos</i>	26
<b>2.4 Tópicos relevantes para o estudo do PSA</b>	<b>33</b>
2.4.1 <i>Bem Público</i>	33
2.4.2 <i>A Tragédia dos Comuns</i>	34
2.4.3 <i>Comportamento “Free Rider”</i>	35
2.4.4 <i>Ótimo de Pareto</i>	36
<b>2.5 O PSA e a conservação do capital natural</b>	<b>36</b>
2.5.1 <i>Importância dos Serviços Ambientais</i>	38
2.5.2 <i>Índices Biofísicos</i>	44
<b>2.6 Valoração dos serviços ambientais</b>	<b>46</b>
2.6.1 <i>Métodos de valoração econômica dos bens e serviços ambientais</i>	51
2.6.2 <i>Tipos de mercados para PSA</i>	54
2.6.3 <i>Falhas de mercado</i>	56
2.6.4 <i>Análise custo benefício</i>	59
<b>3. METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DO PSA</b>	<b>62</b>
<b>4. ESTUDO DE CASO - RIO SESMARIA</b>	<b>76</b>

<b>4.1 Bacia do Rio Sesmaria</b>	76
4.1.1 <i>Histórico</i>	76
4.1.2 <i>Descrição</i>	78
<b>4.2 Histórico das enchentes no município de Resende</b>	83
<b>4.3 Alterações realizadas no Rio Sesmaria</b>	84
<b>4.4 Regime de precipitações na bacia hidrográfica</b>	85
<b>4.5 Modelagem Matemática na Bacia do Rio Sesmaria</b>	105
4.5.1 <i>Situação atual de alagamentos em Resende</i>	106
4.5.2 <i>Situação de alagamentos no passado, com a bacia antes do desmatamento</i>	106
4.5.3 <i>Situação de alagamentos em Resende, caso a bacia tivesse se preservado ao longo do tempo</i>	108
4.5.4 <i>Situação de alagamentos em Resende, caso seja adotado um processo de requalificação fluvial</i>	109
4.5.5 <i>Situação de alagamentos em Resende, caso seja reflorestada apenas a Faixa Marginal de Proteção</i>	112
<b>5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA</b>	114
<b>5.1 Dados sócio econômicos</b>	119
<b>5.2 Requalificação fluvial para controle de enchentes</b>	131
5.2.1 <i>Distribuição de Poisson</i>	139
<b>5.3 PSA para controle de enchentes na bacia do Rio Sesmaria</b>	141
<b>5.4 Considerações Econômicas</b>	156
5.4.1 <i>Reflorestamento</i>	156
5.4.2 <i>Serviços de dragagem</i>	156
5.4.3 <i>Utilização da terra</i>	157
5.4.4 <i>Aplicação Financeira</i>	160
<b>6. CONCLUSÕES</b>	161
<b>6.1 Considerações gerais</b>	161
<b>6.2 Considerações específicas</b>	162
<b>6.3 Contribuições</b>	164
<b>6.4 Recomendações</b>	164
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	169

## ANEXOS

Anexo I	Legislação que regula o PSA nos estados brasileiros
Anexo II	Projetos de PSA implantados
Anexo III	AVADAN
Anexo IV	Relatório Fotográfico da bacia do Rio Sesmaria
Anexo V	Aerofotografia dos anos de 1965 e 2009
Anexo VI	Relação de Itens danificados com inundação
Anexo VII	Benefícios do Reflorestamento/Revegetação natural

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Canalização do Rio Sesmaria.....	15
Figura 1.2 – Edificações nas margens do Rio Sesmaria.....	15
Figura 1.3 – Ponte interferindo na calha do Rio Sesmaria.....	15
Figura 1.4 – Contenção provocando estrangulamento do Rio Sesmaria.....	15
Figura 2.1 – Faixa Marginal de Proteção.....	21
Figura 2.2 – Processo de Avaliação de Risco .....	59
Figura 3.1 – Etapas do projeto de PSA .....	63
Figura 4.1 – Urbanização nas margens do Rio Sesmaria .....	79
Figura 4.2 – Bacia do Rio Sesmaria .....	80
Figura 4.3 – Processos erosivos e atividades irregulares no Rio Sesmaria .....	85
Figura 4.4 – Curvas de precipitação x duração - posto pluviométrico de Resende .....	90
Figura 4.5 - Curvas de precipitação x duração - posto pluviométrico de Resende .....	91
Figura 4.6 - Curvas de precipitação x duração - posto pluviométrico de Resende .....	92
Figura 4.7 – Estações levantadas no sistema Hidroweb para a bacia do Rio Sesmaria.....	95
Figura 4.8 - Gráfico de chuvas anuais máximas .....	97
Figura 4.9 – Dados para o município de Resende .....	101
Figura 4.10 – Dados para estação São José do Barreiro .....	103
Figura 4.11 – Mapa de inundação da área urbana nas condições atuais da bacia TR=10 anos .....	106
Figura 4.12 - Mapa de inundação da área urbana nas condições do passado TR=10 anos.....	107
Figura 4.13 - Mapa de inundação da área urbana na bacia do Rio Sesmaria nas condições de uso e cobertura da área urbana atual e área rural e topografia passadas TR=10 anos.....	109
Figura 4.14 - Mapa de inundação da área urbana na bacia do Rio Sesmaria com requalificação fluvial TR=10 anos .....	111
Figura 4.15 - Mapa de inundação da área urbana na bacia do Rio Sesmaria com reflorestamento da FMP TR=10 anos .....	112
Figura 5.1 - Mapa de inundação da área urbana na bacia do Rio Sesmaria para o evento ocorrido em dezembro de 2010 TR=10 anos .....	115

Figura 5.2 – Mapa de interseção da malha de células do MODCEL na bacia do Rio Sesmária .....	116
Figura 5.3 – Sobreposição da malha de células sobre a imagem da bacia do Rio Sesmária através do <i>Google Maps</i> .....	117
Figura 5.4 – Mapa de inundação na bacia do Rio Sesmária para o evento de 14/dezembro/2010 .....	118
Figura 5.5 – Gráfico do prejuízo do evento de 14/12/2010 para diferentes TRs .....	131
Figura 5.6 – Mapas de inundação para um evento com TR= 10 anos em um cenário simulado com requalificação fluvial e o mapa do evento para o mesmo TR nas condições atuais da bacia .....	132
Figura 5.7 – Gráfico do prejuízo para o cenário com e sem requalificação fluvial para diferentes TRs .....	139
Figura 5.8 – Fluxograma do PSA na bacia do Rio Sesmária.....	151

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tipos de serviços ambientais .....	19
Tabela 2.2 – Tipologia e Instrumentos de Política Ambiental.....	23
Tabela 4.1 – Valores de $\alpha$ .....	88
Tabela 4.2 – Valores de $\beta$ .....	88
Tabela 4.3 – Dados das estações no sistema Widroweb para a bacia do Rio Sesmaria .	95
Tabela 4.4 – TR para precipitações máximas mensais – Estação Formoso .....	98
Tabela 4.5 – Precipitação determinada para diferentes TRs.....	99
Tabela 5.1 – PED para os imóveis padrão médio e baixo .....	120
Tabela 5.2 – Avaliação de danos – Defesa Civil – AVADAN .....	123
Tabela 5.3 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências – AVADAN .....	124
Tabela 5.4 - Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências TR10 anos.....	126
Tabela 5.5 - Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências TR 2 anos.....	127
Tabela 5.6 - Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências TR 5 anos.....	128
Tabela 5.7 - Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências TR 25 anos.....	129
Tabela 5.8 - Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências TR 50 anos.....	130
Tabela 5.9 - Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências em um cenário simulado com requalificação fluvial TR 2 anos .....	134
Tabela 5.10 - Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências em um cenário simulado com requalificação fluvial TR 5 anos .....	135
Tabela 5.11 - Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências em um cenário simulado com requalificação fluvial TR 10 anos .....	136
Tabela 5.12 - Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências em um cenário simulado com requalificação fluvial TR 25 anos .....	137
Tabela 5.13 - Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências em um cenário simulado com requalificação fluvial TR 50 anos .....	138
Tabela 5.14 – Prejuízos acumulados para eventos esperados em 50 anos nas condições atuais da bacia aplicando a distribuição de Poisson.....	140
Tabela 5.15 - Prejuízos acumulados para eventos esperados em 50 anos com o cenário de requalificação aplicando a distribuição de Poisson.....	140
Tabela 5.16 – Custo da implantação do projeto de PSA no ano 1 .....	152

Tabela 5.17 – Custo das etapas do projeto de PSA no ano 1 na Bacia do Rio Sesmaria.....	153
Tabela 5.18 - Custo do projeto de PSA para 50 anos .....	154

## ABREVIATURAS

ABEP	Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIC	Área Inundada Construída
AIP	Área do Imóvel Padrão
ANA	Agência Nacional de Águas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
AVADAN	Avaliação de Danos da Defesa Civil
AVR -	<i>Average Remaining Value</i>
BEC	Bem Estar Corrente
CCIP	Custo do Conteúdo do Imóvel Padrão
CERTI	Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras
CH <sub>4</sub>	Gás Metano
CIRF	<i>Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale</i>
CM	Consumo Total Médio
CMP	Custo das Medidas de Produção
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CRC	Custo dos Danos de Conteúdo das Residências
CRE	Custo dos Danos a Edificações das Residências
CUB	Custo Unitário Básico da Construção
DCN	Depreciação do Capital Natural
DDH	Dispêndio Defensivo dos Habitantes
DPR	Danos Oriundos da Poluição Residual
DQA	Diretiva Quadro da Água
EAESP	Escola de Administração de Empresas de São Paulo
ECRR	<i>European Centre for River Restoration</i>
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EUA	Estados Unidos da América
FAO-ONU	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FM	Fator Multiplicador



FMP	Faixa Marginal de Proteção
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
GVces	Centro de Estudos em Sustentabilidade
HFC <sub>s</sub>	Hidrofluorcarbono
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IFCA	Índice Final de Conservação Ambiental
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LHC	Laboratório de Hidráulica Computacional
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MOA	<i>Memorandum of Agreement</i>
MODCEL	Modelo de Células de Escoamento
NBR	Norma Técnica Brasileira
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
PED	Porcentagem da Edificação Danificada
PFC <sub>s</sub>	Perfluorcarbono
PIB	Produto Interno Bruto
PNL	Produto Nacional Líquido
PNLSS	Produto Nacional Líquido Socialmente Sustentável
PRO-PSA	Programa Estadual de PSA no estado do Rio de Janeiro
PROVEG	Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
RCB	Relação Custo Benefício
REDD+	<i>Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation</i>
RNA	Regeneração Natural Assistida
R1-N	Residência Padrão Normal

RP1Q	Residência Popular um Quarto
SEA	Secretaria de Estado do Ambiente
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de Enxofre
SERELAREFA	<i>SEmillas REd LATina Recuperación Ecosistemas Fluviales y Acuáticos</i>
SICAR	Sistema de Cadastro Ambiental Rural
TIR	Taxa Interna de Retorno
TR	Tempo de Recorrência
UFM	Unidade Fiscal do Município
VANT's	Veículos Aéreos Não Tripulados
VPL	Valor Presente Líquido
VTN	Valor da Terra Nua
UC	Unidade de Conservação
UNESCO	<i>United Nations Educational Scientific and Cultural Organization</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

# 1. Introdução

## 1.1 Considerações Gerais

Ao longo do século XX, as cidades no Brasil apresentaram uma urbanização crescente e, muitas vezes, sem planejamento. O crescimento desordenado provocou a ocupação de áreas que deveriam estar protegidas por lei, desconsiderando a preservação do meio ambiente. Segundo MIGUEZ *et. al.* (2015a) o desenvolvimento das cidades sempre teve uma relação muito próxima com a água e afeta diretamente os padrões de uso da terra e muda as paisagens naturais provocando o agravamento das enchentes entre outros problemas.

Estudo recente (MARENGO *et al.*, 2015) indica a incidência cada vez mais frequente de eventos extremos no Brasil como a ocorrência de seca prolongada, altas temperaturas, chuvas extremas e grandes inundações, entre outros, provocados pela mudança climática, como as projeções globais apresentadas no Quinto Relatório de Avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) em 2014 (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 2014) e regionais do INPE. Entretanto, as cidades não estão preparadas para as mudanças previstas para as próximas décadas, como as previstas para a região sudeste do Brasil – chuvas extremas e períodos secos, longos e intensos. Ações que andam na contramão das previsões científicas são frequentes no território brasileiro, podendo-se citar a impermeabilização do solo, a canalização de rios, o revestimento de seu leito e construção de diques, assim como a ocupação indevida de áreas de amortecimento de enchentes. Desde os tempos antigos, os diques têm sido utilizados para proteger as terras baixas ao longo dos principais cursos d'água para permitir sua ocupação. No entanto, os rios urbanos exigem espaço para o armazenamento temporário das inundações (MIGUEZ *et.al*, 2015b) e a expansão urbana é uma grande questão global (SETO *et al.*, 2011).

As projeções de eventos climáticos citadas apontam para a necessidade de planejamento e adequação das infraestruturas das cidades para as mudanças que virão nas próximas décadas, principalmente, às referentes aos recursos hídricos. Pode-se citar como exemplo a cidade de Resende, município do Estado do Rio de Janeiro, localizada na região do Médio Paraíba, a qual faz parte do objeto deste estudo. Originalmente, na região onde está localizado o Município de Resende, predominava o Bioma Mata Atlântica, que foi devastado a partir do século XVIII, com a expansão do cultivo de

café. Nas últimas décadas, o Município vem se tornando um grande pólo industrial com áreas urbanizadas em trechos do Rio Sesmária e do Rio Paraíba do Sul. Aproveitando-se da inércia do poder público, a ocupação de Áreas de Proteção Ambiental (APP) e das Faixas Marginais de Proteção (FMP) foi realizada de forma inconsequente pela população nas margens dos Rios Sesmária e Paraíba do Sul. Diante da ocupação irregular, as consequências das enchentes tornaram-se inevitáveis, trazendo grande prejuízo para a população, o que levou a Prefeitura Municipal a realizar intervenções no leito e nas margens desses rios, principalmente nas margens do Rio Sesmária, estudo de caso da tese apresentada.

Diante dos desafios apontados ao longo do tempo faz-se necessário a utilização dos instrumentos econômicos como forma de induzir os atores na adoção de práticas menos ofensivas ao meio ambiente, através de punição pelo dano provocado ou incentivo para a preservação ambiental. A Política Nacional de Meio Ambiente, Lei nº. 6.938/81 (BRASIL, 1981) instituiu a aplicação de instrumentos de comando e controle para preservação ambiental. A promulgação do novo Código Florestal, Lei 12.651/12 (BRASIL, 2012), por sua vez, estabeleceu a utilização de instrumentos econômicos e deu destaque ao mecanismo que oferece incentivo para as ações que promovam a manutenção, ou recuperação dos serviços ambientais. Esse instrumento é o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) – transação voluntária que motiva a conservação e a recuperação dos serviços ambientais, na qual aqueles que oferecem os serviços, recebem uma recompensa (vendedores) e os que se beneficiam, pagam pelos serviços prestados (compradores). Entretanto, esse instrumento econômico não possui regulamento a nível federal, fato que não impediu que estados e municípios avançassem em suas próprias legislações, instituindo o PSA para recuperação e preservação dos ecossistemas. A ausência de um marco regulatório contribui para a indefinição e pouca utilização de políticas públicas voltadas para o PSA como alternativa para lidar com as externalidades, ou seja, a incapacidade do mercado em considerar a importância dos serviços prestados pelos recursos naturais preservados.

A questão ambiental não diz respeito somente ao meio ambiente. Ela interfere intrinsecamente no bem estar do ser humano, através de respostas da própria natureza ou pelas consequências do desequilíbrio ambiental, ou ainda, pelo aparecimento de doenças ou o descontrole dos vetores que as transmitem. Nesse sentido, faz-se necessário o envolvimento de todos na prática de ações que contribuam para a preservação ou recuperação ambiental podendo-se citar o poder público, o setor

empresarial, Organizações não-Governamentais, proprietários e comunidades rurais, Universidades e Institutos de Ensino e Pesquisa, entre outros. Sendo assim, a comunicação e a divulgação são processos fundamentais para que as ações ganhem importância e sejam apoiadas pelos *stakeholders* adquirindo o fortalecimento necessário para sua continuidade.

A valoração ambiental é um fator significativo, assim como de difícil avaliação, pela tendência de se caracterizar o meio ambiente como um bem público e de livre acesso. Diversos métodos têm sido apresentados para a valoração econômica dos bens e serviços ambientais, entretanto, a incerteza na avaliação da natureza ainda prevalece, pois ainda não se alcançou um consenso na comunidade científica quanto às condições e características que podem ser generalizadas em todo o cenário. OJEA *et al.* (2012) afirmam que, no que se refere às florestas e à qualidade da água, ou ao que muitas vezes se denomina "serviços de bacia hidrográfica", o estabelecimento do PSA pode ser um desafio, pois nem sempre há uma distinção clara entre a estrutura do ecossistema, o processo relevante e o impacto que o ecossistema produz.

Assim sendo, no trabalho aqui apresentado realizou-se uma valoração dos prejuízos causados por um evento de enchente na bacia do Rio Sesmaria. Através da utilização das manchas de inundação geradas por um modelo matemático, que permitiu a simulação do cenário com a recuperação da cobertura vegetal na parte alta da bacia, foi possível quantificar os benefícios econômicos com a implantação do PSA como instrumento para controle de enchentes em bacias hidrográficas.

### **1.1.1 Motivações**

A escolha do Rio Sesmaria para estudo de caso foi consequência, primeiramente, da participação da autora dessa tese em fevereiro de 2011, na Missão Brasileira do Projeto SERELAREFA (*SEmillas REd LATina Recuperación Ecosistemas Fluviales y Acuáticos*). Este foi resultado de uma chamada da Comunidade Europeia, IRSES-PEOPLE-2009 N. 247522, sob a coordenação do *Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale* (CIRF), com participação de Universidades da Espanha, do México, do Chile e do Brasil. Tinha como objetivo geral lançar as bases para uma rede latino-americana de recuperação fluvial, fomentando um fluxo de ideias, conhecimentos e contatos para ajudar a todos os participantes e a comunidade internacional a entender

melhor a dinâmica dos processos fluviais, os efeitos das intervenções antrópicas e quais poderiam ser as ações encaminhadas para a solução de numerosos problemas. Na ocasião, visitas técnicas foram realizadas juntamente com os pesquisadores em diversos trechos do rio Paraíba do Sul, com destaque particular para a sub-bacia do Rio Sesmaria, que havia sido gravemente afetado por chuvas recentes. Como consequência, vários estudos de caso foram desenvolvidos, resultando em publicações, apresentações em congressos, dissertações, teses como no caso dos rios Paraíba do Sul, Sesmaria e Dona Eugênia – todos no Estado do Rio de Janeiro. Posteriormente, a autora dessa tese estreitou os vínculos com a bacia do Rio Sesmaria através da participação em audiências públicas, reuniões no Ministério Público Federal, posteriores visitas técnicas realizadas nos trechos urbano e rural do rio, bem como, explorou a oportunidade de interagir com a Defesa Civil do município, identificando as fragilidades da área urbana do município diante dos eventos de inundação, como os ocorridos no ano de 2010.

A interação com os problemas da bacia e com setores tomadores de decisão proporcionou acesso às informações que foram fundamentais para o estudo de caso que a tese apresenta. Além disso, como fruto da Missão SERELAREFA no Brasil, estudos realizados na bacia, através do Laboratório de Hidráulica Computacional (LHC) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), deram sustentação para o desenvolvimento da tese, por já oferecerem os resultados de simulações hidrodinâmicas que, de outra forma, teriam tomado um tempo muito importante deste trabalho ora desenvolvido. Entre esses trabalhos, pode-se destacar a dissertação de mestrado defendida por JACOB (2013), que apresentou um estudo para a bacia em referência utilizando modelagem matemática.

A tese aqui apresentada analisa a viabilidade econômica para a implantação de um projeto de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) para um horizonte de 50 (cinquenta) anos, com base em cenários de modelagem hidrodinâmica, para diferentes tempos de recorrência, desenvolvidos por JACOB (2013). Por todos estes motivos, o estudo de caso é desenvolvido na bacia do Rio Sesmaria, na qual se discute a implantação de um projeto de PSA para recuperação da vegetação natural de topos de morro e margens do rio na área rural, com vistas à prestação do serviço de redução de inundações na cidade de Resende, focando no equacionamento de uma fórmula que permite calcular a viabilidade do projeto.

### ***1.1.2 Limitações da pesquisa***

Para desenvolvimento do trabalho na sub-bacia do Rio Sesmária foi necessário conhecer melhor o regime de precipitação da bacia. As informações hidrológicas apresentavam falhas, além de dados inconsistentes nas séries históricas da rede hidro meteorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), que poderiam contribuir para determinar o tempo de recorrência do evento ocorrido em dezembro de 2010. Através de relatos de moradores e servidores públicos, bem como documentos oficiais e da imprensa local referente ao evento, pôde-se construir uma evolução histórica do ocorrido no Rio Sesmária. Diante da incerteza, foi possível associar o evento a um determinado tempo de recorrência que permitiu o avanço nas discussões para cálculo dos prejuízos causados pelas inundações. Reconhece-se, neste caso, a fragilidade na limitação de dados, entretanto, entende-se que sejam suficientes para propor uma metodologia que possa ser replicada em outras bacias e contribuir para o entendimento das relações de causa e efeito ao longo do tempo, bem como na tomada de decisões.

A tese, como já mencionado, utiliza cenários de modelagem hidrodinâmica. Ressalta-se que, os cenários são simplificações de futuros complexos. Tenta-se, através deles, estabelecer diversas possibilidades para a análise proposta. A autora reconhece que a análise de futuros cenários é uma limitação ao trabalho. Entretanto, segundo KUBISZEWSKI *et al.* (2017) essa tendência é uma realidade para interpretar resultados com previsões, que, obviamente, limitam a precisão de resultados, mas não as conclusões gerais. LAKE (2013) afirma que os gerentes de recursos lidam com cenários que mudam constantemente como resultado de distúrbios antropogênicos e KREILING *et al.* (2018) afirmam que as tomadas de decisões reagem à situação atual, mas nem sempre são benéficas para todo o ecossistema. Esse, muitas vezes, apresenta respostas imprevisíveis e as decisões podem inclinar o sistema para outro regime de comportamento. Entretanto, BOYD (2014) afirma que, ao longo dos anos, vários critérios para seleção de indicadores ecológicos têm sido desenvolvidos, relevantes não apenas para as ciências sociais, mas para a interação das condições ecológicas ao bem estar social. Nesse sentido, a tese não apresenta a avaliação dos ecossistemas relacionada à recuperação da vegetação natural, mas apenas à expectativa de redução do escoamento com a mitigação dos efeitos na área urbana.

O PSA é um arranjo institucional que permite a transferência de recursos dos usuários dos serviços ambientais para aqueles que oferecem os serviços. Através de parcerias pode-se criar um fundo para promover incentivos econômicos para conservação ou recuperação de ecossistemas. A identificação do arranjo institucional deve ser processada conforme a estratégia necessária para o desenvolvimento do PSA. Não se intenciona através dessa tese o engessamento do modelo para aplicação nas bacias hidrográficas, todavia, atender as situações específicas de cada território, adequando o arranjo institucional, se faz necessário. A pesquisa não abarca todas as possibilidades de configuração de um PSA, portanto, ajustes são necessários de acordo com a realidade. O controle sobre a implementação do arranjo deve garantir a qualidade do projeto, o que implica em altos custos de transação. Sendo assim, recomenda-se a diversificação das fontes de financiamento, além das práticas de cooperação dos atores locais, como Organização Não Governamental (ONG), empresas locais e comunidades.

Outro desafio que merece destaque é a adesão dos proprietários ao PSA, ao considerar o não uso da terra em troca do pagamento pela preservação da área. Dependendo do território e da atividade desenvolvida, o convencimento pode ocorrer de forma mais fácil ao se provar monetariamente a viabilidade do não uso da terra. No entanto, destaca-se aqui, que as áreas recomendadas para o reflorestamento são áreas protegidas pelo Novo Código Florestal. A metodologia apresentada não inclui os proprietários que evitaram o desmatamento. Reconhece-se neste item uma fraqueza da metodologia, apesar da autora reconhecer a tendência de compensação para aqueles que mantiveram suas florestas preservadas.

O monitoramento do projeto desde a sua implantação, bem como, ao longo de todo o seu desenvolvimento é fundamental para o alcance dos objetivos. A avaliação constante dos resultados alcançados ao longo do tempo, permite a avaliação e intervenção no processo de gerenciamento para corrigir as possíveis deficiências apresentadas, de forma que se alcance os resultados esperados.

## **1.2 Base Conceitual**

MACHADO (2010) afirma que o direito ao meio ambiente equilibrado, do ponto de vista ecológico, consubstancia-se na conservação das propriedades e das funções naturais desse meio, de forma a permitir a “existência, a evolução e o



desenvolvimento dos seres vivos”. Ter direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado equivale a afirmar que há um direito de que não se desequilibre significativamente o meio ambiente.

A Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988) promulgada em 05 de outubro de 1988, em seu art. 225 induz o Poder Público e a sociedade civil a participarem do gerenciamento dos bens ambientais: *“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”*.

A proteção ao meio ambiente é questão obrigatória nas atividades econômicas, tanto públicas quanto privadas. O crescimento econômico deve estar atrelado ao desenvolvimento ambiental e social, que a partir do Relatório de Brundtland (BRUNDTLAND, 1988), passou a ser chamado Desenvolvimento Sustentável. Segundo o Relatório, as origens e causas da poluição são difusas, complexas e interrelacionadas, e os problemas de poluição, antes localizados, agora se apresentam em escala regional ou mesmo global. O Relatório aborda a necessidade de um novo tipo de desenvolvimento, que integre a produção com a conservação e a ampliação dos recursos, e que as vincule ao objetivo de dar a todos uma base adequada de subsistência e um acesso equitativo aos recursos. A definição de Desenvolvimento Sustentável, segundo o Relatório de Brundtland: *“É o desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.”* Essa nova abordagem sugeriu a integração de políticas ambientais e estratégicas de desenvolvimento, e mudanças nas políticas internas e internacionais, de todas as nações e exerceu profunda influência na reflexão sobre a interação entre economia e meio ambiente.

GUEDES & SCEHUSEN (2011) afirmam que o bem estar social depende significativamente dos serviços ambientais fornecidos pela natureza. NUSDEO (2012) afirma que a destruição de ecossistemas acaba por gerar a necessidade de soluções artificiais para a disponibilização de alguns serviços ambientais, quando há viabilidade para tanto, mediante um grande aporte de recursos financeiros públicos e privados. Entretanto, as questões climáticas têm provocado interesse nas discussões, para retribuir monetariamente iniciativas que minimizem os danos causados ao meio ambiente por ações antrópicas.

Diante da especificidade dos problemas ambientais de cada país, existem diferenças nos princípios e tipos de instrumentos de política ambiental adotados. As políticas econômicas favorecem um tipo de composição da produção e do consumo que tem impactos importantes sobre o meio ambiente. No Brasil, a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei 6.938/1981 (BRASIL, 1981), impõe ao poluidor a obrigação de recuperar e/ou indenizar prejuízos causados. O objetivo principal é a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, assegurando ao País condições ao desenvolvimento socioeconômico.

A problemática ambiental vem desenvolvendo uma conscientização de que as medidas de proteção ambiental não foram criadas para impedir o desenvolvimento econômico. Surge, então, uma percepção da necessidade de uma perspectiva multidimensional, envolvendo economia, ecologia e políticas ambientais.

Na Economia Ambiental, a relação com os recursos naturais está apoiada no princípio da escassez, que classifica como “bem econômico” o recurso que estiver em situação de escassez, desconsiderando o que for abundante. A principal discussão proposta pela Economia Ambiental se refere ao desenvolvimento de mecanismos que objetivem a alocação eficiente de recursos naturais e considera-se, ainda, a “internalização das externalidades”, ou seja, alterar incentivos de forma que as pessoas levem em consideração os efeitos de suas ações. O governo utiliza instrumentos para internalizar as externalidades. Se negativas, o imposto, e se positivas, o subsídio. Na Economia Ambiental, predomina a noção de que os recursos naturais devem ser reduzidos à lógica de mercado, precisam ser privatizados e ter preços, como possibilidade objetiva e única de protegê-los.

Pigou, autor pioneiro na aplicação dos conceitos da microeconomia neoclássica e no exame de questões ambientais, em sua obra *The Economics of Welfare* (PIGOU, 1920), considera o fenômeno das externalidades. Para Pigou, a tendência no sentido da exploração predatória dos recursos naturais deriva de uma “falta de desejo em relação ao futuro”, que induz os indivíduos a maximizarem suas satisfações presentes. Na visão de Pigou, e dos principais expoentes da visão neoclássica, a poluição é um exemplo de externalidade, originada por uma falha de mercado.

As externalidades são os custos ou benefícios externos ao mercado, isto é, os impactos causados por um produtor ou consumidor, em outro produtor ou consumidor, sem uma correspondente compensação monetária. MOTTA (2007) afirma que as externalidades estão presentes sempre que terceiros ganham sem pagar por seus

benefícios marginais, ou perdem sem serem compensados por suportarem o malefício adicional. Quando as externalidades são significativas e soluções privadas não podem ser conseguidas, o governo pode tentar resolver o problema através de políticas de comando e controle.

NUSDEO (2012) afirma que os instrumentos de comando e controle se caracterizam por fixar normas, regras, procedimentos e padrões determinados para as atividades econômicas a fim de assegurar o cumprimento dos objetivos da política em questão; por exemplo, reduzir a poluição do ar ou da água. Entretanto, muitas vezes, esse instrumento torna-se ineficaz na adoção de práticas de preservação do meio ambiente, tornando-se necessária a inclusão de instrumentos econômicos, através de cobrança de tarifas e taxas pela utilização dos recursos, ou da redução fiscal, como incentivo para as empresas que preservam o meio ambiente.

Os instrumentos econômicos induz a alteração do custo de utilização de um recurso, internalizando as externalidades, e assim, influenciando no seu nível de utilização. A internalização das externalidades consiste em fazer seus responsáveis pagarem pelos custos coletivos ou sociais que elas acarretam, corrigindo as diferenças entre o ótimo privado e o ótimo social.

Com o objetivo de aprimorar a gestão do patrimônio ambiental, introduziu-se uma política de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) ao redor do mundo. No Brasil, vários estados, como por exemplo, Santa Catarina, Minas Gerais e São Paulo, têm adotado uma legislação própria, voltada para o pagamento desses serviços. Entretanto, observa-se que, na esfera federal, não há uma lei abrangente sobre o tema, o que permitiria uma segurança jurídica sobre as ações.

WUNDER (2005) define PSA como uma transação voluntária, na qual um serviço ambiental bem definido, ou uma forma de utilização dos solos apta a garantir tal serviço, é comprado de um provedor, sob a condição de que este garanta a provisão deste serviço. DE CARLI (2017) define PSA como um instrumento que visa estimular a produção de externalidade positiva, transformando-as em produtos reais que podem ser comercializados no mercado. A característica principal apresentada nos acordos de PSA é a não interrupção do serviço ambiental proposto, vinculado a um pagamento. DAILY (1997) identificou os serviços passíveis de pagamento ambiental: purificação do ar e da água; regulação do fluxo de água; desintoxicação e decomposição de resíduos; formação do solo; polinização das culturas agrícolas e vegetação natural; controle de pragas agrícolas; dispersão de sementes e translocação de nutrientes; manutenção da

biodiversidade; estabilidade climática parcial; moderação de temperaturas extremas; quebra ventos; suporte para diversas culturas humanas; enriquecimento da estética e da beleza paisagística.

SHIKI & SHIKI (2011) afirmam que os serviços ecossistêmicos ou ambientais são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas e que, dentre esses benefícios, estão produtos tangíveis e valorizados, mercadorias transacionadas e consumidas sob diversas formas, conforme a disponibilidade e capacidade de tecnologia e investimentos produtivos. ODUM (2009) define ecossistema como *“qualquer unidade (biossistema) que abranja todos os organismos que funcionam em conjunto (a comunidade biótica) numa dada área, interagindo com o ambiente físico de tal forma que um fluxo de energia produza estruturas bióticas claramente definidas e uma ciclagem de materiais entre as partes vivas e não vivas”*. O autor ressalta que o ecossistema é a unidade funcional básica na ecologia, pois inclui tanto os organismos quanto o ambiente abiótico; cada um destes fatores influencia as propriedades do outro e cada um é necessário para a manutenção da vida, como a conhecemos na Terra.

PRIA *et al.* (2013) citam que o *MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT* (2005) definiu os serviços ecossistêmicos, ou serviços ambientais, como os benefícios que as pessoas e as sociedades humanas recebem dos ecossistemas, e dividiu esses serviços em quatro grupos:

- Serviços de provisão: alimento, água, madeira e fibra;
- Serviços de Regulação: manutenção do clima, prevenção de enchentes, controle de doenças, ciclagem de lixo e outros dejetos e manutenção da qualidade da água;
- Serviços culturais: benefícios recreativos, estéticos e culturais;
- Serviços de apoio: formação de solo, fotossíntese e ciclagem de nutrientes.

Segundo WUNDER (2005), o PSA se origina no debate sobre a eficiência das abordagens tradicionais para a conservação da natureza e afirma que é produto da necessidade de instrumentos econômicos para garantir a conservação da geração de serviços ambientais. Para que seja efetivo, segundo o autor, o PSA precisa atender algumas condições:

- Os mercados de PSA são criados por transações voluntárias, tanto para quem está disposto a pagar como para quem está disposto a receber.
- É necessário que o serviço ambiental em questão seja bem definido e compreendido por todas as partes.
- É necessário haver uma relação de oferta e demanda, entre pelo menos um comprador e um vendedor do serviço ambiental.
- O serviço precisa ser passível de monitoramento para garantir que o vendedor de fato entregue o serviço.

Ultimamente, incentivos como o Pagamento de Serviços Ambientais vêm sendo utilizados como forma de benefícios às comunidades envolvidas nos projetos de conservação. É crescente o número de PSA aplicado ao gerenciamento da terra por parte das comunidades, pagamentos na gestão florestal e para conservação da biodiversidade (GRIMA, 2016). Pode-se acrescentar no contexto o pagamento de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD+), adotado pelo Protocolo de Quioto, como mecanismo de redução de emissões decorrentes de desmatamento e degradação.

## **1.3 Hipótese**

A implantação do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) em bacias hidrográficas pode alavancar processos de requalificação fluvial, com a oferta do serviço de controle de inundações urbanas, através da recuperação da vegetação natural e reserva de áreas para mobilidade fluvial e o amortecimento de vazões.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo Geral***

Propor a implantação de um programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), associado ao controle de inundações e baseado no conceito de prejuízo evitado como motivador da oferta do serviço, através de medidas de revegetação de margens e reserva de áreas para amortecimento de cheias.

#### **1.4.2 *Objetivos Específicos***

- Elaborar um diagnóstico sobre o uso e ocupação da terra, avaliando a pressão antrópica sobre o ecossistema e as mudanças introduzidas no sistema natural, para identificar as possibilidades de conservação.
- Estimar o valor das perdas causadas pelas inundações, para criar a oportunidade do financiamento de um serviço ambiental, a partir do reconhecimento do valor econômico dos recursos ambientais, que, neste caso em particular, oferece o valor de perdas evitadas ao longo do tempo como benefício do processo.
- Associar o serviço ambiental de controle de inundações com o conceito de requalificação fluvial, trabalhando o corredor fluvial e o espaço da bacia para reduzir as oportunidades de geração de escoamentos superficiais e introduzir áreas ribeirinhas de amortecimento de cheias.
- Identificar as áreas/proprietários que têm potencial para fornecimento dos serviços ambientais na bacia em estudo.
- Identificar os vendedores dos serviços ambientais, assim como os potenciais compradores e propor um esboço viável (dentre vários possíveis), como exemplo de arranjo institucional do pagamento do serviço ambiental de controle de inundações em Resende, a partir da requalificação do Rio Sesmaria.
- Propor uma fórmula para avaliação da viabilidade do pagamento por serviços ambientais de controle de inundações, considerando o custo da implantação do projeto de PSA, o custo de administração, manutenção e monitoramento ao longo do tempo, o custo da terra imobilizada e os benefícios associados aos prejuízos evitados com as medidas de controle das cheias associadas à requalificação fluvial.

## 1.5 Metodologia

Para o alcance dos objetivos traçados, as seguintes etapas metodológicas foram definidas, conforme descrito a seguir:

- Pesquisa histórica da evolução de ocupação e ciclos econômicos na Bacia do Rio Sesmária, incluindo a evolução da urbanização.
- Diagnóstico qualitativo da Bacia do Rio Sesmária, incluindo aspectos de degradação, inundações e perda de funções hidrológicas.
- Pesquisa exploratória dos conceitos e metodologias aplicadas nas políticas de PSA através de revisão bibliográfica em livros, artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, pesquisa de legislação, programas e políticas públicas e experiências de projetos em andamento no Brasil e no exterior.
- Proposição, a partir dos estudos realizados, de um arranjo legal, institucional e financeiro que viabilize o PSA como ferramenta de preservação e recuperação ambiental de rios. Particularmente, pretende-se definir uma fórmula que mostre a viabilidade de implantação do Pagamento por Serviços Ambientais, tomando o conceito de prejuízos evitados como gerador de benefícios que justifica o arranjo. O arranjo institucional macroscópico pretende apenas ser um pano de fundo viável (dentre diversas possíveis alternativas, sem a pretensão de que a proposta aqui desenvolvida seja considerada como absoluta) para testar a formulação que será, então, o núcleo central desta tese e principal contribuição à discussão científica.
- Utilização de manchas de inundação da Bacia do Rio Sesmária, previamente confeccionadas por JACOB (2013), através da aplicação do modelo hidrodinâmico MODCEL (MIGUEZ, 2001; MASCARENHAS E MIGUEZ, 2002) para avaliar os prejuízos causados pela enchente de dezembro de 2010 e compará-los com cenários simulados com áreas reflorestadas de topos de morros e matas ciliares.
- Levantamento dos prejuízos causados pelo evento de dezembro de 2010, utilizando como base a Avaliação de Danos (AVADAN) da Defesa Civil, determinação do tempo de recorrência deste evento de 2010 e utilização

destas informações para extrapolar os prejuízos esperados para outras recorrências, permitindo obter uma integral de prejuízos no tempo, a partir da simulação computacional de diversos tempos de recorrência para a bacia.

- Comparação dos prejuízos evitados com os custos de implantação e operação de um projeto de PSA.

## **1.6 Estudo de caso**

A Bacia do Rio Sesmaria está localizada na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, no limite dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo. O trecho denominado Rio Sesmaria tem 21 km dos quais, a maior parte é na área rural e, aproximadamente 5 km, ocupados pela área urbana do Município de Resende e a sua foz é no Rio Paraíba do Sul. A caracterização pluviométrica da região aponta para níveis elevados de precipitação, concentradas entre os meses de outubro a março, e dados históricos apresentam ocorrência de inundações constantes causadas pelo Rio Paraíba do Sul e ausência de registros de inundações provocadas pelo Rio Sesmaria em décadas passadas. Entretanto, é importante ressaltar que, naquele período, o Rio Sesmaria cortava uma área urbana pequena na qual as construções ainda não ocupavam parte do seu leito menor, como nos dias atuais. Nos últimos anos, no entanto, as enchentes provocadas pelo Rio Sesmaria tornaram-se frequentes. No ano de 2010, a população sofreu com duas grandes enchentes nos meses de março e dezembro, que provocaram alagamentos em vários bairros e causaram danos estruturais em obras como pontes e muros de contenção, ao longo de trechos do rio. Em abril de 2012, o nível do rio atingiu um metro acima do normal, causando grande preocupação à população e mostrando evidências do desequilíbrio no regime do rio.

Ao longo do Rio Sesmaria é possível identificar intervenções significativas no trecho urbano do rio, como canalização com a supressão da calha secundária (Figura 1.1) e, inclusive, edificações avançando sobre a calha principal (Figura 1.2); pontes construídas com fundações, pilares e cabeceiras interferindo na calha principal, alterando o regime de escoamento e provocando assoreamentos (Figura 1.3); muros de contenção, contrariando o desenho natural do rio, utilizando técnicas variadas com utilização de rip-rap, cintas de concreto, tijolo e gabião, provocando o estrangulamento do rio (Figura 1.4).





Figura 1.1 – Obras de Canalização do Rio Sesmária  
Fonte: OLIVEIRA (2014)



Figura 1.2 – Edificações nas margens do Rio Sesmária  
Fonte: OLIVEIRA (2014)



Figura 1.3 – Ponte interferindo na calha do Rio Sesmária  
Fonte: OLIVEIRA (2014)



Figura 1.4 – Contenção provocando estrangulamento do Rio Sesmária  
Fonte: OLIVEIRA (2014)

A parte alta da bacia do Rio Sesmária apresenta pequenos fragmentos da vegetação original de Mata Atlântica, que resistiram à cultura do café e da cana de açúcar, entre outras, e atividades agropastoris que ocorreram na bacia ao longo de anos. Atualmente, a bacia apresenta áreas com cultivos temporários como a de milho e de feijão, áreas com plantações de eucaliptos e pastagens degradadas. Os processos erosivos têm se intensificado na bacia provocando o assoreamento e contribuindo para o desequilíbrio do Rio Sesmária.

## 2 Revisão da literatura e fundamentação teórica

### 2.1 Requalificação Fluvial

Conceitos e métodos vêm sendo discutidos nos últimos tempos com a finalidade de promover a melhora dos cursos d'água - restauração, revitalização, renaturalização, reabilitação, remediação, entre outros. Dentre eles, a requalificação fluvial, que tem origem no termo italiano *requalificazione fluviale*, e foi impulsionado pela Diretiva Quadro da Água (DQA) na Europa a partir do início do século XXI, para a proteção e a gestão das águas superficiais e subterrâneas. A DQA introduziu aspectos inovadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos que, a partir daí, começaram a influenciar outros países. LUDERITZ *et al.* (2011) afirmam que a restauração como ferramenta de gerenciamento para melhorar a saúde dos rios e córregos é um elemento obrigatório da DQA europeia, que compromete os estados da União Europeia a alcançar um “bom estado” para suas águas terrestres e de superfície. Os principais aspectos introduzidos pela DQA são destacados abaixo, segundo JACOB (2013):

- Abordagem integrada de proteção das águas de superfície e águas subterrâneas;
- Avaliação do estado das águas, através de uma abordagem ecológica;
- Planejamento integrado em nível de bacia hidrográfica;
- Estratégia para eliminação da poluição causada por substâncias perigosas;
- Instrumento financeiro para apoio à restauração;
- Incremento da divulgação da informação e incentivo da participação do público;
- Organização do quadro geral comunitário.

Segundo o Centro Italiano *per la Riqualificazione Fluviale* (CIRF, 2006) a requalificação fluvial é o conjunto integrado de ações e técnicas que abrange desde os aspectos jurídico, administrativo e financeiro até o aspecto estrutural, com a finalidade retornar um curso d'água a um estado mais natural possível, capaz de desempenhar as suas funções ecossistêmicas (geomorfológicas, físicas, químicas e biológicas), bem como, agregar maior valor ambiental dentro do atual quadro de desenvolvimento

socioeconômico. Entende-se que esse novo conceito, além de tratar das questões hidráulicas e da disponibilidade da água, visa o controle dos riscos de inundação através do resgate da mata ciliar e das áreas de inundação, considerando o planejamento integrado da bacia hidrográfica e avaliação do estado da água através de uma abordagem ecológica. Autores (BRIERLEY & FRYIRS, 2005; FINDLAY & TAYLOR, 2006) defendem que a requalificação dos rios permite o retorno parcial para as condições estruturais e funcionais que existiam antes da sua degradação, respeitando os usos da água. Segundo (RUTHERFURD *et al.*, 2000; CIRF, 2006) deve-se priorizar a preservação dos rios que ainda possuem um bom estado de conservação, evitando danos que afetem o sistema natural. Os autores destacam que diante da complexidade de um sistema natural torna-se impossível devolvê-lo ao seu estado original, e o retorno mais próximo possível a esse estado, demanda longo tempo e grande dispêndio financeiro. BEECHIE *et al.* (2010) e PALMER (2009) afirmam que o aumento da preocupação com os resultados ecológicos da restauração do rio levou às demandas recentes de que a restauração do rio visava a recuperação de processos biofísicos em vez de se concentrar apenas na alteração do canal. No entanto, ao se falar de requalificação fluvial, VERÓL (2013) afirma que não deve ser a restauração das condições naturais do rio, mas sim um movimento no sentido de se atingir condições desejáveis, possivelmente mais próximas àsquelas pré-existentes, ou seja, inverter a tendência de degradação.

NARDINI & PAVAN (2012) afirmam que, ao longo de anos, a busca de solução para problemas que afetam a população, como, enchentes, erosões, sedimentação dos rios e poluição das águas, tem resultado em canalização de rios urbanos e construção de barragens. Entretanto, segundo RIGOTTI & POMPEO (2011), nas últimas décadas, passou-se a discutir a reintrodução do rio como elemento vivo na paisagem urbana, recuperando as funções ecológicas, sociais e hidrológicas dos córregos. DELONG & THOMS (2016) corroboram essa visão social ao apresentarem estudo para gestão de rios como um sistema sócio ecológico. LIKEN (1992) *apud* KREILING *et al.* (2018) afirmam que um sistema integra os componentes da terra, água e biota e essa integração facilita o entendimento da estrutura e funcionamento da paisagem terrestre e fluvial como um todo.

A gestão da bacia hidrográfica como um todo vem ocorrendo nas últimas décadas em países como Austrália, Inglaterra, Alemanha, Itália, Estados Unidos, entre outros (JACOB, 2013). No entanto, KREILING *et al.* (2018) e GILVEAR *et al.* (2016)

afirmam que existe uma desconexão entre a gestão da superfície da bacia hidrográfica e as redes fluviais. HARVEY & GOOSEFF (2015) destacam a dificuldade do alcance de aplicações de estudos científicos na bacia como um todo. Na requalificação fluvial observa-se a totalidade do território em termos de ocupação, gestão e infraestrutura. Considera-se, assim, a bacia hidrográfica com todas as interferências sofridas ao longo do tempo, como, desmatamento, impermeabilização do solo, obras de infraestrutura, produção de sedimentos, fluxo, capacidade de armazenamento, entre outras, para recuperação do estado ecológico dos sistemas fluviais, e assim, alcancem resultados o mais próximo do seu estado original. Entende-se que a requalificação fluvial é um desafio. A participação da sociedade é fundamental para que a adoção de medidas seja eficiente pra cumprir seus objetivos.

Segundo NARDINI & PAVAN (2012) um dos maiores desafios da requalificação fluvial é demonstrar que os rios mais naturais são compensadores e socialmente desejáveis, não apenas por razões puramente ambientais, mas também porque podem reduzir o risco ou, pelo menos, o custo total do risco esperado, incluindo o investimento e a manutenção das intervenções. GUSMAROLI *et al.* (2011) afirma que a motivação para a requalificação urbana não é somente ligada ao valor do rio em si, mas pode constituir uma oportunidade para a cidade, em termos de valorização imobiliária dos quarteirões ribeirinhos, de revitalização econômica de bairros depreciados por enchentes ou pela proximidade com um rio degradado, de melhoramento da qualidade da vida dos habitantes e de redução do risco hidráulico (geralmente presente). JACOB (2013) cita vários benefícios alcançados através da restauração fluvial, de acordo com o *European Centre for River Restoration* (ECRR) como destacados abaixo:

- Agrega atração visual na cidade;
- Valorização dos imóveis e aluguéis;
- Criação de zonas úmidas e biodiversidade;
- Reduz as inundações à jusante;
- Reduz custos de manutenção e construção através de técnicas da bioengenharia;
- Proporciona oportunidades educacionais e de lazer;
- Possibilidade de criação de rotas de pedestres e ciclovias;
- Melhora na qualidade de vida dos moradores;

- Cria-se uma identidade local.

Ou ainda, de acordo com RILEY (1998):

- Redução de danos da erosão nas margens dos cursos de água;
- Preservação ou restauração de recursos históricos ou culturais;
- Encorajamento do retorno de aves e vida selvagem a refúgios urbanos;
- Fornecimento de cinturões verdes, espaços abertos e parques;
- Criação de oportunidades de navegação e outras recreações aquáticas;
- Retorno ou melhora da pescaria recreacional ou comercial;
- Fornecimento de uma fonte segura de alimento para família de pescadores.

BAPTISTA *et al.* (2017) destacam que nas pequenas bacias hidrográficas, a hidrologia de cada região geográfica varia menos e tem um tempo menor de resposta para as práticas de gestão que oferecem benefícios sociais. A Tabela 2.1 apresenta algumas ações estruturais ou não, que poderão ser adotadas para a requalificação fluvial.

Tabela 2.1: Ações para atuação na Requalificação Fluvial.

<b>Ações estruturais</b>	<b>Ações não estruturais</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remoção de elementos de risco</li> <li>- Restauração da vegetação</li> <li>- Melhora do regime hídrico</li> <li>- Melhora da qualidade da água</li> <li>- Suspender a extração de areia para deter o aprofundamento do leito do rio</li> <li>- Facilitar o acesso da população à água e às margens para efeito de lazer e recreação</li> <li>- Buscar a morfologia mais natural dos rios.</li> <li>- Restabelecer a continuidade dos cursos d'água para a fauna migratória</li> <li>- Restabelecer locais para a desova e biótipos aquáticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de cultura fluvial</li> <li>- Educação ambiental participativa</li> <li>- Planejamento e processos de decisão compartilhados</li> <li>- Normas/Regulamentação</li> <li>- Incentivos/Desincentivos</li> <li>- Informação/Monitoramento</li> </ul>

Fonte: Adaptado de NARDINI (2011) e SELLES *et al* (2001) *apud* VERÓL (2013)

No Brasil a proteção dos cursos d'água surgiu com o Código Florestal em 1934 (BRASIL, 1934) ao tratar da preservação das florestas protetoras e estabelecia



o uso da terra em função da floresta existente, e de acordo com a sua localização, serviam para conservar o regime d'água, evitar erosão, garantir a salubridade pública, entre outras funções (BRASIL, 1934). Em 1965, o Código Florestal (BRASIL, 1965) foi aperfeiçoado e manteve a ideia conservacionista, e determinou a proteção das florestas nativas e demais vegetações ao longo dos cursos d'água. Segundo BORGES *et al.* (2011) o Código Florestal de 1965 representou importante instrumento disciplinador das atividades florestais ao declarar as florestas como bens de interesse comum e impôs limite ao uso da propriedade rural. Em 2001, a Medida Provisória 2.166-67 (BRASIL, 2001) nominou essas áreas como Área de Preservação Permanente (APP) e Áreas de Reserva Legal. Com aprovação do Novo Código Florestal, através da Lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012) as APPs são aquelas áreas protegidas nos termos dos arts. 2º e 3º. O conceito legal de APP relaciona tais áreas, independente da cobertura vegetal, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Conforme a legislação vigente, as faixas protegidas para margem de rios variam de acordo com a largura dos rios e tipologia. No caso das faixas mínimas a serem mantidas e preservadas nas margens dos cursos d'água (rio, nascente, vereda, lago ou lagoa), a norma considera não apenas a conservação da vegetação, mas também a característica e a largura do curso d'água na área rural. Para as nascentes (perenes ou intermitentes) a lei estabelece um raio mínimo de 50 metros no seu entorno, independentemente da localização. Da mesma forma, há faixas diferenciadas para os rios de acordo com a sua largura, iniciando com uma faixa mínima de 30 metros em cada margem para rios com até 10 metros de largura, ampliando essa faixa à medida que aumenta a largura do rio. A Figura 2.1 apresenta as diferentes situações.

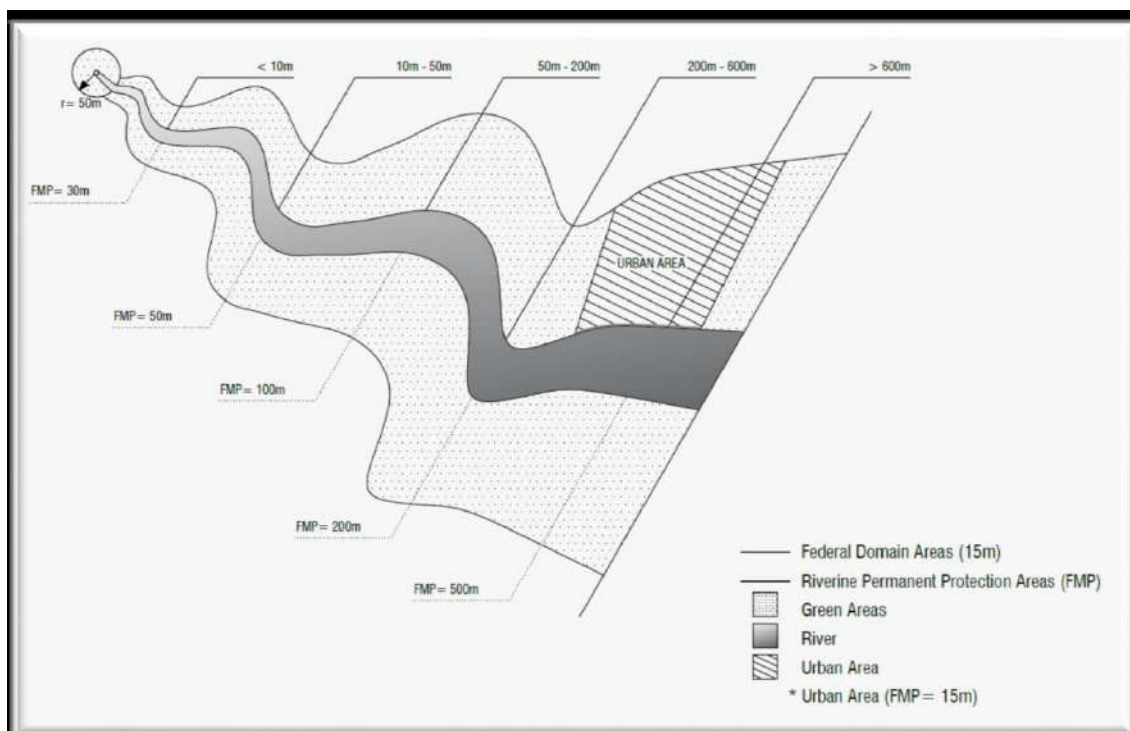


Figura 2.1 – Faixas protegidas do rio  
 Fonte: OLIVEIRA *et al.* (2015)

Entretanto, o Estado do Rio de Janeiro, através de legislação própria - Lei Estadual n<sup>o</sup>. 650/83 - estabeleceu a norma operacional para demarcação das faixas marginais de proteção de cursos d'água no Estado do Rio de Janeiro, ou seja, faixa de terra nas margens de cursos d'água, lagos e reservatórios, necessária e destinada à proteção, à defesa, à conservação e operação de sistemas fluviais e lacustres. Esse também é um instrumento de controle do sistema de proteção dos lagos e cursos d'água, visando à preservação do meio-ambiente e a utilização racional dos recursos naturais do Estado. De acordo com a legislação estadual, a definição da largura mínima da FMP em cada trecho de curso d'água obedece a critérios hidrológicos e hidráulicos, tendo como referência a vazão máxima associada à passagem de uma determinada cheia, estabelecendo a largura do curso d'água durante a mesma. Ainda de acordo com a legislação, são consideradas APP, em zonas rurais ou urbanas, as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, ou ainda, a largura do curso d'água usada como referência para demarcação da FMP.

Para desenvolvimento do estudo de caso apresentado nessa tese, utilizou-se a demarcação das APPs como determinado pelo Novo Código Florestal, de acordo com os dados apresentados por JACOB (2013) para controle das inundações. FILOSO

(2017) afirma que a restauração da cobertura florestal diminui os fluxos máximos e a magnitude ou frequência da inundação, sendo fácil de detectar e pode servir como indicador claro dos benefícios hidrológicos da restauração florestal.

## 2.2 Serviços Ambientais

Os ecossistemas terrestres, dulcícolas e marinhos são capazes de fornecer para a sociedade uma quantidade enorme de serviços, entre eles, água potável, terras produtivas, biodiversidade e sequestro de carbono. Segundo ODUM (2009), os ecossistemas são ricos em redes de informação, que compreendem fluxos de comunicação físicos e químicos que interligam todas as partes e governam ou regulam o sistema como um todo. A Hipótese de Gaia sustenta que os organismos, principalmente os micro organismos, evoluíram junto com o ambiente físico, formando um sistema complexo de controle, o qual mantém favoráveis à vida as condições da Terra (LOVELOCK, 1979). No entanto, BROWN (1978) afirma que:

À medida que a economia global se expande, aumentam as pressões sobre os sistemas biológicos da Terra. Em grandes áreas do mundo, as demandas humanas sobre estes sistemas estão atingindo um nível insustentável, um ponto onde a sua produtividade está sendo prejudicada. Quando isto ocorre, as indústrias pesqueiras entram em colapso, as florestas desaparecem, os campos naturais são convertidos em ermos estéreis, e as terras agrícolas deterioram-se, juntamente com a qualidade do ar, da água e de outros recursos de manutenção da vida.

Atualmente, estudos apontam a degradação dos ecossistemas, como mostra o relatório do *MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT* (2005), que constatou que mais de 60% (sessenta por cento) dos serviços ambientais estudados estão sendo degradados mais rapidamente do que a sua capacidade de recuperação. Diante da preocupação gerada pela necessidade de disponibilização dos serviços fornecidos pelos ecossistemas, essenciais para o bem estar humano, vê-se o crescimento de um mercado para os serviços ambientais em todo o mundo, como forma de incentivar o uso correto desses serviços. Até o momento atual, o desenvolvimento econômico, científico e tecnológico vem induzindo o homem a dominar a natureza sem o reconhecimento de seu valor econômico e social e, muitas vezes, sem o conhecimento dos seus limites.

ODUM (2009) destaca que o valor econômico de um recurso natural só entra em cena quando é convertido em bens fabricados ou serviços humanos, assim deixando sem preço o trabalho da natureza que sustenta o recurso inteiro.



BOYD (2014) afirma que, diante da escassez de recursos disponíveis para medir, modelar e monitorar as condições ecológicas e ambientais é necessário focar esses esforços em indicadores que têm demonstrado relevância biofísica e social. Fundamenta-se assim a formulação do princípio do “protetor-recebedor” para os pagamentos de serviços ambientais, pois o objetivo seria transferir recursos dos beneficiários àqueles que promoveram a “ajuda” à natureza.

NUSDEO (2012) afirma que a expressão “serviços ambientais” pode ser utilizada para designar duas categorias: os chamados produtos ambientais utilizados diretamente pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, frutos, madeira, carne, sementes e medicinais ou os serviços relativos ao suporte da natureza, tais como a polinização natural, a ciclagem de nutrientes do solo, o fluxo de genes, a manutenção do volume e da qualidade dos recursos hídricos, o sequestro de carbono que permite a estabilização climática, entre outros.

Para que ocorram transações sobre serviços ambientais é necessário que haja compradores e vendedores, ou seja, uma relação de oferta e demanda, entre pelo menos um comprador e um vendedor do serviço ambiental, e essas transações devem ser voluntárias, tanto para quem está disposto a pagar como para quem está disposto a receber. Esses serviços podem ser divididos em quatro grupos, como apresenta a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Tipos de Serviços Ambientais

	<b>Florestas</b>	<b>Oceanos</b>	<b>Terras Agrícolas/ Cultivadas</b>
<b>Bens Ambientais</b>	Alimento Água fresca Madeira Fibras	Alimento	Alimento Combustível Fibras
<b>Serviços de Regulação</b>	Manutenção do clima Prevenção de enchentes Controle de doenças Purificação da água	Manutenção do clima Controle de doenças	Manutenção do clima Purificação da água
<b>Serviços de Apoio</b>	Ciclagem de nutrientes Formação do solo Fotossíntese	Ciclagem de nutrientes Produção primária	Ciclagem de nutrientes Formação do solo
<b>Serviços Culturais</b>	Benefício estético Espiritualidade Benefício cultural Benefício recreativo	Benefício estético Espiritualidade Benefício cultural Benefício recreativo	Benefício estético Benefício cultural

Fonte: *MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT* (2005)

No Brasil, apesar de não existir uma lei federal específica que regule o Pagamento por Serviços Ambientais, é possível extrair da Lei 12.114/2009, que cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2009) alguns serviços ambientais específicos, como os contidos no Artigo 5<sup>o</sup>, incisos V, XI, XII e XIII:

*V – Projetos de redução de emissões de carbono pelo desmatamento e degradação florestal, com prioridade a áreas naturais ameaçadas de destruição e relevantes para estratégias de conservação da biodiversidade;*  
*XI – pagamento por serviços ambientais às comunidades e aos indivíduos cujas atividades comprovadamente contribuam para a estocagem de carbono, atrelada a outros serviços ambientais;*  
*XII – sistemas agroflorestais que contribuam para redução de desmatamento e absorção de carbono por sumidouros e para geração de renda;*  
*XIII – recuperação de áreas degradadas e restauração florestal, priorizando áreas de Reserva Legal e áreas de Preservação Permanente e as áreas prioritárias para a geração e garantia da qualidade dos serviços ambientais.*

No âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU), com a adoção da Convenção sobre Mudança do Clima, e através do Protocolo de Quioto, que começou a vigorar em 2005, criou-se um mecanismo denominado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que é uma alternativa que implica na redução das emissões de poluentes com a promoção do desenvolvimento sustentável do país onde é implantado. O objetivo do MDL é auxiliar os países desenvolvidos, que assinaram o Protocolo, a cumprir suas metas de redução de emissão dos gases de efeito estufa (GEE), através da implantação de projetos em países em desenvolvimento. Um dos requisitos para que um projeto seja elegível como MDL é que reduza as emissões de GEE de forma adicional ao que ocorreria na ausência da atividade do projeto de MDL, e que proporcione benefícios reais e de longo prazo, relacionados com a mitigação da mudança climática. A proposta do MDL, descrita no Artigo 12 do Protocolo de Quioto – Tratado Internacional para Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa – (UNFCCC, 1997) consiste em que cada tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente que deixar de ser emitida, ou for retirada da atmosfera, por um país em desenvolvimento, poderá ser negociada no mercado mundial, criando novo atrativo para a redução das emissões globais e consolidando o Mercado de Carbono. Assim, é pertinente associar o MDL à indução de práticas de PSA, considerando que o intuito de ambos os mecanismos é de apoio às práticas ambientalmente corretas, contribuindo para a mitigação da mudança do clima.

No Anexo I, é possível verificar a diversidade de leis, decretos e projetos de lei, na esfera estadual, que institui o PSA em diversas localidades no Brasil.

Os serviços ambientais podem ser remunerados de formas diversas, além da remuneração monetária. BORN & TALOCCHI (2002) *apud* NUSDEO (2012) citam

que as formas de remuneração pelos serviços ambientais são amplas, incluindo, além da transferência direta de recursos, também o favorecimento à obtenção de créditos, à isenção de taxas e impostos, ao fornecimento de serviços coletivos, à disponibilização de tecnologias e capacitação técnica e o subsídio a produtos. No Anexo II apresentam-se as principais características de alguns programas de PSA que ganharam destaque em diversos países e, inclusive, alguns implantados no Brasil.

## **2.3 Instrumentos Econômicos da Política Ambiental**

### **2.3.1 Teoria Econômica e Meio Ambiente**

Segundo LIMA (2001), as atividades econômicas são transformadoras da natureza, com ela interagindo em dois níveis: recolhendo matérias primas e devolvendo resíduos. Para manter esse crescimento nos padrões de produção e consumo atuais, é necessária uma mudança no padrão de consumo, concomitantemente, com uma redução das atividades poluidoras, promoção do incentivo na matriz energética, em busca de outras fontes de energia, reciclagem e reaproveitamento do lixo, e introdução de inovações tecnológicas, que permitam melhor aproveitamento de matéria prima, eficiência energética e redução de rejeitos.

A Teoria da “Curva Ambiental” de Kuznets<sup>1</sup> (KUZNETS, 1966) sustenta que a poluição e os impactos ambientais evoluem nas sociedades industriais seguindo uma curva em forma de “U” invertido, ou seja, a degradação da natureza aumenta durante os estágios iniciais do desenvolvimento de uma nação, mas se estabiliza e começa a decrescer quando o nível de renda e de educação da população aumenta. Entretanto, na década de 1990 eram claras as evidências em contrário, mostrando um formato da relação entre desigualdade e crescimento diferentes daquela prevista por Kuznets.

A problemática ambiental vem desenvolvendo uma conscientização de que as medidas de proteção ambiental não foram criadas para impedir o desenvolvimento econômico. Surge então, uma percepção da necessidade de uma perspectiva multidimensional, envolvendo economia, ecologia e políticas ambientais.

---

<sup>1</sup> Simon Smith Kuznets, economista russo, vencedor do Prêmio Nobel de Ciências Econômicas em 1971, como reconhecimento de sua pesquisa sobre o crescimento econômico das nações, o que levou a nova e aprofundada visão, sobre a estrutura econômica e social e o processo de desenvolvimento.

A Economia do Meio Ambiente se divide entre duas correntes principais de interpretação, ou seja, a Economia Ecológica e a Economia Ambiental. São correntes que se desenvolveram visando questões referentes à utilização de recursos naturais e à atividade econômica.

A Economia Ecológica é uma corrente de interpretação que vê o sistema econômico como um subsistema de um todo maior que o contém. O progresso científico e tecnológico é visto como fundamental, para aumentar a eficiência na utilização dos recursos naturais em geral, renováveis e não renováveis. COSTANZA *et al.* (2014) destaca que os ecossistemas não podem fornecer nenhum benefício para o homem sem a presença de pessoas (capital humano), de suas comunidades (capital social) e seu ambiente construído (capital construído). O autor afirma que, no longo prazo, uma economia saudável só pode existir em simbiose com uma ecologia saudável. A Economia Ecológica aceita e utiliza alguns conceitos e instrumentos da economia neoclássica do meio ambiente, mas também da economia tradicional, sem se limitar a nenhum desses, buscando na análise transdisciplinar uma nova forma de apreender as ligações entre o meio ambiente e a economia.

Na Economia Ambiental a relação com os recursos naturais está apoiada no princípio da escassez, que classifica como “bem econômico” o recurso que estiver em situação de escassez, desconsiderando o que for abundante. A principal discussão proposta pela Economia Ambiental se refere ao desenvolvimento de mecanismos que objetivem a alocação eficiente dos recursos naturais como a utilização de instrumentos econômicos. DE CARLI (2017) afirma que estimar o valor econômico de um ou mais serviços do ecossistema não se traduz automaticamente em remunerá-los, mas sim, um incentivo para compensá-los. Através da utilização de instrumentos econômicos pode-se estimular a produção de externalidade positiva, ou ainda, a “internalização das externalidades”, ou seja, alterar incentivos de forma que as pessoas levem em consideração os efeitos de suas ações. Para isso, o governo utiliza instrumentos: se as externalidades são negativas, utiliza-se o imposto; se positivas, o subsídio.

### **2.3.2 Instrumentos Econômicos**

O atual padrão tecnológico da produção industrial é intensivo em energia e matérias primas. Juntamente com a produção surgem rejeitos industriais e, se suas quantidades forem maiores que a capacidade de absorção do meio ambiente, gera

poluição. Essa tem efeitos negativos sobre o bem-estar da população e sobre a qualidade dos recursos naturais, afetando a harmonia dos ecossistemas e aumentando os gastos públicos, como por exemplo, gastos com doenças relacionadas à poluição.

Para induzir os agentes econômicos ao abatimento de descarga de efluentes e ao uso mais moderado dos recursos naturais, são utilizados instrumentos econômicos. A adoção crescente de instrumentos econômicos pode induzir a diminuição dos padrões de emissão de GEE, tanto no nível de atores econômicos, quanto no nível dos países em seu conjunto. Eles são aplicados através de taxas e tarifas, subsídios, certificados de emissões transacionáveis e sistemas de devolução de depósitos.

Como exemplo de instrumentos econômicos pode-se citar os empréstimos subsidiados para agentes poluidores que melhorarem seu desempenho ambiental, taxas sobre produtos poluentes, depósitos reembolsáveis na devolução de produtos poluidores e licenças de poluição negociáveis. No Brasil, a aplicação de instrumentos econômicos é feita através da cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas, por tarifa de esgoto industrial, compensação financeira devido à exploração de recursos naturais, compensação fiscal por áreas de preservação e taxas florestais. No caso dos empréstimos agrícolas existe, inclusive, a exigência de comprovação de averbação das reservas legais das propriedades beneficiadas.

Os instrumentos econômicos têm a função de internalizar o custo externo ambiental e podem ser divididos em três grupos, conforme mostra a Tabela 2.3.

**Tabela 2.3 - Tipologia e Instrumentos de Política Ambiental**

<b>Comando e controle</b>	<b>Instrumentos econômicos</b>	<b>Instrumentos de comunicação</b>
Controle ou proibição de produto	Taxas e tarifas	Fornecimento de informação
Controle de processo	Subsídios	Acordos
Proibição ou restrição de atividades	Certificados de emissão transacionáveis	Criação de redes
Especificações tecnológicas Controle do uso de recursos naturais	Sistemas de devolução de depósitos	Sistema de gestão ambiental Selos ambientais
Padrões de poluição para fontes específicas		<i>Marketing</i> ambiental

Fonte: MOTTA (2007)

Os Instrumentos de Comando-Controle estabelecem normas, regras e procedimentos de produção e utilização dos recursos, em caso de não cumprimento de tais medidas. Os Instrumentos Econômicos se dão mediante cobrança de tarifas e taxas pela utilização dos recursos, ou a redução fiscal, como incentivo para as empresas que

preservam o meio ambiente, e os Instrumentos de Comunicação podem ser utilizados na divulgação de informações fortalecendo o comprometimento da organização com a política ambiental. Entretanto, os avanços ocorreram apenas em alguns países industrializados. O que se verifica, de modo geral, é o aumento dos despejos de fertilizantes e dejetos em rios, lagos e águas costeiras, causando impactos sobre a pesca, o abastecimento de água potável, a navegação e a destruição das belezas naturais.

O governo pode internalizar a externalidade tributando atividades que causam externalidades negativas e subsidiando atividades que tragam externalidades positivas através de tributos como os Impostos de Pigou e as Licenças de Poluição.

PIGOU (1920) foi um dos primeiros economistas a indicar uma falha de mercado ao se referir ao interesse das empresas à custa do interesse público. Ele contestava a capacidade do mercado livre como alocador eficiente de recursos e afirmava que somente o Estado pode “estabelecer regras de responsabilidade e fazer cumpri-las para atacar os danos não compensados da poluição atmosférica e aquática”. Assim, ele sugeriu a implantação de subsídios e impostos para igualar os custos das empresas e os custos sociais.

Os Impostos de Pigou são aqueles aplicados de forma a corrigir os efeitos de externalidades negativas, chamados assim, em homenagem ao economista. Os impostos de Pigou arrecadam receita para o governo e aumentam a eficiência econômica. O governo ao penalizar os agentes causadores das externalidades, através da cobrança de impostos, aumenta os custos destes agentes, de modo que eles considerem os efeitos externos de suas ações.

O Teorema de Coase assegura que as externalidades não provocam a alocação imperfeita de recursos, desde que os custos de transação sejam nulos e os direitos de propriedades bem definidos e respeitados. Nesse caso, as partes, o produtor e o consumidor da externalidade, teriam um incentivo de mercado para negociar um acordo em benefício mútuo, de tal forma que a externalidade fosse internalizada. O Teorema estabelece que o resultado deste processo de troca seria o mesmo, tanto se fosse o produtor ou o consumidor de externalidade quem possuísse o poder de veto ou o direito de propriedade de usar ou não o recurso.

O Teorema de Coase diz que os agentes econômicos privados podem solucionar o problema das externalidades entre si. Qualquer que seja a distribuição inicial dos direitos, as partes interessadas sempre podem chegar a um acordo, no qual todos fiquem numa situação melhor e o resultado seja eficiente. O Teorema de Coase

mostra que se os incentivos são corretos, as instituições se formam quase que espontaneamente para canalizar essas negociações (ARNT, 2010).

Segundo MOTTA (2007), quando as negociações são possíveis, os preços da externalidade emergem e norteiam uma alocação eficiente dos recursos, independentemente daqueles a quem os direitos de propriedade são assegurados. Este processo é denominado solução de mercado coasiana. O mesmo autor cita que, nestes casos, taxas pigouvianas não seriam necessárias, pois o próprio mercado atingiria soluções ótimas, sem uso de instrumentos fiscais. Entretanto, devido ao caráter difuso do problema ambiental, observa-se um número elevado de partes afetadas e geradoras de externalidades. As soluções coasianas acabam gerando altos custos de transação, que podem resultar em pontos de equilíbrio muito próximos à total degradação ou exaustão.

LIMA (2001) destaca as críticas formuladas ao Teorema de Coase: longa sobrevida de vários poluentes, afetando futuras gerações que não tem possibilidade de negociar em seu próprio nome; difícil identificação de vítimas e poluidores; e possibilidade de desinformação das vítimas.

O Teorema de Coase assegura que o estabelecimento de um preço, para a utilização do meio receptor em sua capacidade assimilativa de resíduos, força os agentes poluidores a uma moderação no uso, racionando o recurso ambiental entre as diversas utilizações, no mesmo tempo que possibilita assegurar o seu uso sustentável no longo prazo. Assim, são utilizados instrumentos econômicos como o Princípio Poluidor Pagador e os Certificados Negociáveis de Poluição. Cabe ressaltar que a adoção de um instrumento econômico, ou a formulação de seu valor, estará vinculada aos objetivos da política econômica e às restrições legais e institucionais.

A adoção de instrumentos econômicos permite que um agente emita acima de um padrão médio estabelecido, desde que outros agentes decidam reduzir seu nível de emissão por meio de compensações financeiras diretas, através da venda de certificado de emissões, ou indiretas, através da redução do imposto a pagar.

As Licenças Negociáveis de Poluição foram concebidas originalmente para ser um mecanismo de controle da poluição. Elas visavam elevar a flexibilidade das empresas para atingir as metas de redução da poluição emitida na atmosfera. Consistem em permissões para que os agentes econômicos no seu processo produtivo possam poluir ou degradar o meio ambiente até o limite estabelecido na permissão. O órgão gestor estabelece um limite máximo permitido de poluição ou degradação ambiental em termos globais, para um determinado poluente, em uma região ou em um setor de

atividades produtivas. Esse total é dividido em cotas, assumindo a forma jurídica de direitos permitidos ou licenças, às quais são alocadas ou leiloadas entre os agentes econômicos participantes.

Tanto os impostos de Pigou, quanto as Licenças de Poluição, permitem internalizar a externalidade da poluição tornando-a dispendiosa para as empresas, ou então, se for economicamente viável, a adoção de tecnologias menos poluentes. Como as cotas podem ser transacionadas, cria-se um mercado ao redor das permissões de poluição que acaba estimulando as empresas, cujos gastos com a mudança para tecnologias mais limpas são relativamente baixos, a adotá-las e transacionar suas cotas excedentes no mercado.

Segundo AMBEC & EHLERS (2016) o Princípio Poluidor Pagador tem o propósito de regulamentar uma economia com poluição ambiental, ao exigir que qualquer agente compense todos os outros agentes pelos danos causados por suas emissões (poluição) tornando cada agente responsável por seu impacto poluente.

Este instrumento pode ainda ter uma função complementar de financiamento, pela reaplicação dos fundos arrecadados pela cobrança. Em 1972, os países-membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) concordaram em basear suas políticas neste princípio, o que serviu de incentivo para as indústrias internalizarem os custos ambientais e refleti-los nos preços dos produtos. Segundo recomendação do Relatório de Brundtland (BRUNDTLAND, 1988) os governos devem verificar se as políticas, os instrumentos ou subsídios econômicos contribuem de fato para a promoção de práticas saudáveis e eficientes em termos ambientais.

Nas décadas de 70 e 80, com a intensificação do processo de globalização, financeira e produtiva da economia mundial, ocorreu uma pressão dos mercados externos nos casos em que as empresas não mostraram interesse em práticas menos agressivas ao meio ambiente. O Estado, por meio da gestão ambiental pública, utilizou meios legais através de política ambiental e suas regulamentações. A regulamentação ambiental tem um lado normativo e outro informativo – traduz as necessidades de proteção ambiental em requerimentos específicos, sinalizando os poluidores e os fornecedores de tecnologias ambientais ao que está sendo demandado.

A imposição de regulamentações ambientais, pela análise ortodoxa, é considerada como um *trade-off*. De um lado, estariam os benefícios sociais relativos a uma maior preservação ambiental, resultante de padrões e regulamentações mais



rígidas; de outro lado, tais regulamentações levariam a um aumento dos custos privados do setor industrial, elevando preços e reduzindo a competitividade tanto das empresas quanto a do país. Outros economistas flexibilizam esse *trade-off*, argumentando que as empresas respondem às regulamentações com inovações, melhorando a competitividade – a chamada “hipótese de Porter”.

A Hipótese de Porter baseia-se nos artigos de MICHAEL PORTER & CLASS VAN DER LINDE (1995a e 1995b) *apud* LUSTOSA (2001) que tratam da relação entre competitividade e meio ambiente, ou seja, um *trade-off* entre ecologia e economia, mais especificamente, entre competitividade e meio ambiente. De um lado estariam os benefícios sociais, relativos a uma maior preservação do meio ambiente, advindos de padrões e regulamentações ambientais mais rígidos. De outro, tais regulamentações levariam a um aumento dos custos privados do setor industrial, elevando o preço dos produtos e reduzindo a competitividade das empresas.

A Hipótese de Porter evidencia que as inovações adotadas para cumprir com as regulamentações ambientais fazem com que as empresas utilizem seus insumos – matérias-primas, energia e trabalho – de modo mais produtivo, reduzindo custos e compensando os gastos com as melhorias ambientais. A competitividade a que se refere a Hipótese de Porter é essencialmente dinâmica – visão de longo prazo – e está relacionada com a capacidade das empresas de elaborar e implementarem estratégias competitivas, capazes de preservar ou fortalecer sua posição no mercado, ou seja, a imposição de padrões ambientais adequados pode estimular as empresas a adotarem inovações, que reduzem os custos totais de um produto ou aumentam seu valor.

O aumento da produtividade dos recursos é possível, porque a poluição é, muitas vezes, um desperdício econômico. Resíduos industriais - sólido, líquido ou gasoso - podem ser reaproveitados, utilizando-os para a cogeração de energia, extraíndo substâncias que serão reutilizadas e reciclando materiais. Outros desperdícios - excesso de embalagens e o descarte de produtos - requerem uma disposição final de alto custo. Todo esse desperdício está embutido nos preços dos produtos, fazendo com que os consumidores paguem pela má utilização dos recursos. A utilização mais racional dos recursos, somente possível por meio de inovações, aumenta a produtividade e torna a empresa mais competitiva, pela redução de custos e/ou pela melhoria de seus produtos, pelos quais os consumidores estariam dispostos a pagar mais.

As empresas realizam investimentos ambientais, que são induzidos basicamente por quatro fatores: as pressões das regulamentações ambientais, as pressões

dos consumidores finais e intermediários, as pressões dos *stakeholders*, que são exercidas por diversos grupos, desde populações residentes na vizinhança de um empreendimento que ameace o meio ambiente, passando por parlamentares, pela sociedade civil organizada e todos aqueles que possuem algum interesse na preservação ambiental. Finalmente, a pressões dos investidores, cuja preocupação volta-se para o passivo ambiental devido à Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998), aos impactos ambientais de suas atividades, considerando a imagem da empresa junto aos acionistas estrangeiros, principalmente os norte-americanos e os europeus, que são mais exigentes, tanto em produtos quanto em processos ambientalmente mais saudáveis. Além desses fatores, existem ainda outros fatores internos à empresa que induzem o investimento ambiental como as reduções potenciais de custos, associadas à utilização racional de insumos – água e energia, entre outros – seja pela redução, reuso ou reciclagem.

Com o processo de globalização financeira e produtiva da economia mundial, algumas empresas passaram a adotar um comportamento ambiental proativo, ou seja, passaram a adotar práticas menos agressivas ao meio ambiente por meio de gestão ambiental. O mundo real no qual as empresas atuam, é caracterizado pela competição dinâmica, baseada em inovações. Portanto, a imposição de padrões ambientais adequados pode estimular as empresas a adotarem inovações que reduzem os custos totais de um produto ou aumentam seu valor (PORTER & CLASS VAN DE LINDE (1995b) *apud* LUSTOSA (2001). PALMER *et al.* (1995) *apud* LUSTOSA (2001) contra argumentam as críticas á hipótese como, por exemplo, a de que os custos de abatimento e controle de poluição nos EUA são muito maiores que os ganhos que eles geram. Eles argumentam que os esforços para obter melhorias ambientais sempre se concentraram no controle da poluição, isto é, no tratamento da poluição depois que ela já ocorreu, ou seja, as soluções do tipo *end-of-pipe*. Mas, os autores enfatizam o conceito de inovações, cujos resultados compensam os custos de implementá-las, pois a poluição é considerada uma utilização improdutiva dos recursos, dado que as firmas nem sempre estão minimizando custos, e assim, um aumento da produtividade do recurso pode levar a melhoria da preservação ambiental.

Seja qual for a base adotada para a tributação, a finalidade não deve ser um tributo para fins de financiamento, mas para induzir mudanças de comportamento aumentando assim, a eficiência econômica das políticas ambientais.

Os Certificados Negociáveis de Poluição são decorrentes do mercado de direitos, ou seja, um mercado transacionável de direitos de uso ou poluição. Podem

ocorrer, quando as empresas que podem reduzir a poluição mais facilmente estariam dispostas a vender qualquer licença que conseguissem obter, e as empresas, que só conseguem reduzir a poluição a alto custo, estariam dispostas a comprar todas as licenças de que precisassem. Nesses mercados são distribuídos, ou vendidos, direitos de uso ou poluição, que no agregado não ultrapassem os níveis de uso ou de poluição desejados. Os níveis de uso ou poluição acima das cotas individuais teriam que ser obtidos por transações desses direitos entre os usuários poluidores.

A política ambiental no Brasil não tem sido capaz de superar a crescente degradação ambiental, assim como, os conflitos políticos e econômicos decorrentes da expansão capitalista no país, e um dos grandes desafios é que os recursos naturais são considerados como bens públicos e, portanto, de responsabilidade do Poder Público e direito de todos.

Toda a teoria até o momento não tem garantido a preservação ambiental. Torna-se fundamental a criação de leis, e para incentivo e viabilização da comercialização de serviços ambientais, ocorra a valoração monetária que incentive a demanda. Impor limites à emissão de poluição provoca grandes custos para as indústrias, assim como, conter o avanço de fronteiras agrícolas sobre as florestas deixa de gerar lucros no longo prazo. Entretanto, o mercado de carbono, bem como o pagamento por serviços ambientais, são instrumentos que poderão ser utilizados para gerar lucros pelo controle na emissão de poluentes e imposição de limites nos avanços aos danos ambientais. Novas tecnologias menos poluentes, a preservação da floresta, ou até mesmo a terra improdutiva podem gerar valor em um mercado lucrativo e promissor.

## **2.4 Tópicos relevantes para o estudo do PSA**

### ***2.4.1 Bem Público***

MILLER (1981) define Bem Público como um bem que pode ser simultaneamente consumido por mais de um indivíduo, sem diminuir o consumo por qualquer outra pessoa, daquele bem. São bens para os quais o Princípio da Exclusividade não se aplica. No Direito Ambiental Brasileiro o meio ambiente é reconhecido como um Bem Público. MACHADO (2010) aborda o artigo 225 da

Constituição da República Federativa do Brasil, citado anteriormente neste trabalho, que no texto “*Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado*”, o uso do pronome indefinido “todos”, alarga a abrangência da norma jurídica, pois, não particularizando quem tem direito ao meio ambiente, evita que se exclua quem quer que seja. Segundo o mesmo autor, a expressão “ambiente ecologicamente equilibrado” não significa uma permanente inalterabilidade das condições naturais, mas a harmonia ou a proporção e a sanidade entre os vários elementos que compõem a ecologia – populações, comunidades, ecossistemas e a biosfera – hão de ser buscadas intensamente pelo Poder Público, pela coletividade e por todas as pessoas. Continuando a abordagem, no texto “*bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para às presentes e futuras gerações.*”, insere a função social e a função ambiental da propriedade como bases da gestão do meio ambiente. O autor interpreta que o Poder Público passa a figurar não como proprietário de bens ambientais, mas como um gestor e que a aceitação dessa concepção jurídica vai conduzir o Poder Público a melhor informar, a alargar a participação da sociedade civil na gestão dos bens ambientais e a ter que prestar contas sobre a utilização dos bens “*de uso comum do povo*”. O autor ainda ressalta que o Poder Público e a coletividade deverão defender e preservar o meio ambiente desejado pela Constituição, e não qualquer meio ambiente. O meio ambiente a ser defendido e preservado é aquele ecologicamente equilibrado. Portanto, descumprem a Constituição tanto o Poder Público como a coletividade quando permitem ou possibilitam o desequilíbrio do meio ambiente, afirma MACHADO (2010).

#### **2.4.2 A Tragédia dos Comuns**

HARDIN (1968) publicou um artigo científico em que aborda que grande parte dos problemas ambientais é consequência da utilização inadequada dos recursos naturais. O autor afirma que o livre acesso e a demanda irrestrita de um recurso finito terminam por condenar estruturalmente o recurso por conta de sua super exploração. Segundo *ibid*, não há solução técnica previsível para o incremento da população humana e seu nível de vida num planeta finito. Ele utiliza um exemplo hipotético de uma pastagem compartilhada por pastores locais, como se descreve a seguir:

Assume-se que os pastores desejem maximizar sua produção e que, assim, aumentarão o tamanho do rebanho sempre que for possível. A utilidade de cada animal

adicional possui um componente tanto positivo quanto negativo. O positivo, quando o pastor recebe todo o lucro sobre cada animal adicional e o negativo, quando a pastagem é ligeiramente degradada por cada animal adicional. Entende-se que a divisão destes custos e benefícios é desigual: individualmente, o pastor ganha todas as vantagens, mas as desvantagens são compartilhadas entre todos que usam a pastagem. Individualmente, a ação racional é acrescentar um animal extra, e mais e mais um. Entretanto, se todos os pastores chegarem à mesma conclusão, a degradação da pastagem ocorrerá no longo prazo. Conclui-se que o ganho é sempre maior para cada pastor do que a quota individual do custo distribuído e o custo da degradação é um exemplo de externalidade negativa.

A “Tragédia dos Comuns” é um tipo de conflito social, geralmente motivado por fins econômicos, que envolve interesses individuais e o uso de recursos finitos. É possível exemplificar a “Tragédia dos Comuns” com situações atuais como:

- Fim da migração dos salmões em rios represados (Rio Columbia – EUA);
- Devastação na pesca do esturção (Rússia);
- Abastecimento de água (Mar Aral e Los Angeles – Lago Mono e Lago Owens);
- Sobrepesca.

#### **2.4.3 Comportamento “Free Rider”**

O comportamento *Free Rider* é definido na Microeconomia como o comportamento de um ou mais agentes econômicos que desfrutam do benefício de um bem sem que tenha contribuído para a obtenção dele. VANNINI (2012) define o comportamento *Free Rider* como um comportamento oportunista que visa desfrutar plenamente de um bem ou serviço produzido coletivamente, sem contribuir de forma eficiente para sua existência. Esse comportamento é comum quando se trata de um bem público. Os indivíduos, empresas ou agentes econômicos se beneficiam enquanto o bem é ofertado gratuitamente, mas se a sua utilização gerar ônus, podem preferir abrir mão do benefício ou restringir o seu uso. Como exemplo, pode-se citar a segurança pública, onde ninguém pode ser excluído do benefício da segurança, mesmo aqueles que não pagam impostos. Apesar da abstenção de um indivíduo na contribuição do bem comum, ele não deixará de usufruir do benefício gerado.

Outro exemplo é o caso de uma indústria que despeja seus resíduos em um curso d'água. Sem se importar com os danos causados ao meio ambiente, a ação continua até o momento que ocorre uma intervenção na qual ela é obrigada a pagar pela poluição causada, através de taxas ou através da implantação de mecanismos de controle da poluição. A partir de então é necessário que a indústria considere um custo que até então era dividido com a sociedade.

#### **2.4.4 Ótimo de Pareto**

Termo criado por Vilfredo Pareto, economista, sociólogo e engenheiro italiano para designar a situação hipotética em que ninguém possa alterar sua situação social, buscando uma posição que mais lhe agrada, sem com isso provocar a mudança de outra pessoa para uma posição que não lhe agrada (SANDRONI, 1994).

Segundo MILLER (1943), Vilfredo Pareto especificou uma condição para a alocação ótima ou eficiente de recursos, que é conhecida como a Condição de Pareto. Pareto aplicou a condição a uma situação de mercado e concluiu que quando a condição é satisfeita, é impossível que um indivíduo ganhe, sem que outro indivíduo tenha uma perda. Portanto, segundo o autor, quando a condição de Pareto é satisfeita, é impossível que todos os indivíduos ganhem numa troca posterior.

HENDERSON (1929) afirma que uma alocação ótima de Pareto é aquela em que a produção e a distribuição não podem ser reorganizadas de modo a aumentar a utilidade de um ou mais indivíduos sem diminuir a de outros.

## **2.5 O PSA e a conservação do capital natural**

O termo Pagamento por Serviços Ambientais, gradativamente, vem adquirindo destaque na literatura acadêmica (DE CARLI, 2017; LÉON *et al.*, 2012; NARDINI & PAVAN, 2012; NUSDEO, 2012; RICO GARCÍA-AMADO, 2013; SOMMERVILLE *et al.*, 2010; VATN, 2010; WUNDER *et al.*, 2008) . Entretanto, é possível verificar que na prática existe uma lentidão operacional para dar suporte às ações que provoquem uma mudança no gerenciamento ambiental e uma melhoria na conservação da biodiversidade.

O Pagamento por Serviços Ambientais vislumbra a melhoria, ou conservação, na saúde dos ecossistemas em um longo prazo, contribuindo para uma provisão sustentável do bem estar humano, do desenvolvimento econômico e, em muitos casos, do alívio da pobreza. O conceito de serviços ecossistêmicos surgiu no início da década de 1980 (EHRlich & EHRlich, 1981; EHRlich & MOONEY, 1983). KUBISZEWSKI *et al.* (2017) afirmam que os serviços ecossistêmicos são os maiores contribuintes para o bem estar humano sustentável e reconhecem que eles cobrem uma grande variedade de bens e serviços, incluindo, provisionamento, regulação, ativos culturais e suporte de serviços. COSTANZA *et al.* (1997) *apud* DE CARLI (2017) aborda o potencial dos serviços ecossistêmicos como um método de análise para protegê-los, assim como, a biodiversidade e WAYLEN *et al.* (2014) afirmam que os serviços ecossistêmicos fornecem uma maneira de entender como a natureza oferece serviços e benefícios para o bem estar humano.

Ressalta-se que o espaço dos recursos ambientais pode ser de propriedade privada, pública, ou ainda, ser objeto de tratados ou acordos internacionais. KREILING *et al* (2018) afirmam que o clima, a geologia, a topografia, solos, vegetação e o uso da terra de uma bacia hidrográfica são as principais variáveis que determinam os principais processos de fluxo, sedimento e regimes biogeoquímicos de paisagens ribeirinhas. Os ganhos e perdas nas situações de trocas ambientais vão depender do tipo e escala dos serviços ambientais oferecidos, dos *stakeholders*, das características social e econômica e do contexto sócio cultural, além das variáveis acima citadas, influenciarem diretamente a morfologia do rio e as planícies de inundação.

Apesar da intensificação das pressões sobre os recursos naturais, tão reduzidos atualmente, não é o bastante para alcançar o apelo necessário para dar suporte e eficiência às ações de conservação. LAKE (2013) afirma que os ecossistemas se ajustam à magnitude e frequência de distúrbios naturais, no entanto, FOLKE (2016) afirma que o estresse adicional de antropogênicos, muitas vezes, não permite tempo hábil para os ecossistemas aquáticos adaptar-se aos distúrbios naturais. Enquanto isso, os tomadores de decisão continuam a discutir escolhas entre conservação e/ou recuperação de ecossistemas e avaliam perdas ou incapacidade de prover recursos para pontuar o capital natural. Assim, observa-se o declínio de populações, atingidas por doenças provocadas pela destruição de ecossistemas, bem como, a intensidade de fenômenos naturais que provocam perdas humanas, culturais e econômicas.

Apesar dos benefícios gerados através da conservação dos ecossistemas, as tomadas de decisão são deficientes, lentas e ineficazes. Contribui para isso, a principal característica dos benefícios gerados pelo ecossistema, a de ser um bem público, portanto, difícil de ser valorado. Além disso, são recompensas para a saúde e bem estar humano que virão em um longo prazo.

Os benefícios fornecidos pelos ecossistemas são resultados que conduzem direta ou indiretamente ao benefício para o bem estar humano. COSTANZA et al. (2014) afirma que os ecossistemas fornecem o sistema de apoio à vida de nosso planeta e SUTTON *et al.* (2016) conclui que ao longo das últimas décadas, os bens e serviços que eles fornecem foram significativamente degradados.

NEDKOV & BURKHARD (2012) destacam que os serviços ecossistêmicos podem ter medidas preventivas, como é o caso das florestas que redirecionam ou absorvem partes de águas da entrada da chuva, reduzindo o escoamento superficial e consequentemente a quantidade de descarga do rio. Sendo assim, vislumbra-se na implantação de um PSA a oportunidade de recuperação de ecossistemas promovendo uma integração da economia e ecologia, induzindo a interação entre os sistemas econômicos e ambientais, como sugerido por BRAAT & DE GROOT (2012).

### ***2.5.1 Importância dos Serviços Ambientais***

As ações antrópicas contribuem para a modificação dessa paisagem que originalmente possuíam uma identidade própria através de relações interdependentes entre o clima, a estrutura geológica, a vegetação, o solo e a hidrografia. A integração entre os componentes naturais geram uma diversidade de serviços ambientais para o bem estar humano. A seguir, destacam-se alguns destes serviços, como os de provisão (matérias primas), de regulação (do fluxo de água nos rios, transporte de sedimentos, sequestro de carbono) e de suporte (ciclagem de nutrientes).

#### ***2.5.1.1 Solo***

Segundo LAL *et al.* (2013) o uso inadequado da terra e o mau manejo do solo podem degradar a sua qualidade química, física e biológica e/ou reduzir a quantidade e qualidade dos serviços ambientais prestados. O estudo para caracterização pedológica tende a indicar o manejo apropriado para garantir a continuidade dos



serviços ambientais prestados por ele. O solo provê serviços como armazenamento de carbono, regulação da qualidade e quantidade da água contribuindo para a disponibilidade hídrica, a fertilidade e qualidade do solo, a retenção hídrica e regulação da erosão, entre outros.

Entre os indicadores econômicos ambientais para avaliação desses serviços podem-se relacionar diversos fatores como a turbidez e assoreamento dos cursos de água, o volume de escoamento superficial, o indicativo de pesticidas em água superficial e no lençol freático, a altura do lençol freático, os nutrientes do solo, os nutrientes e matéria orgânica na água superficial e no lençol freático, bem como na água de escoamento superficial e subsuperficial, a abundância e diversidade de artrópodes<sup>2</sup> no solo e serapilheira<sup>3</sup>, a abundância e diversidade de engenheiro edáficos<sup>4</sup>, presença de agregados no solo<sup>5</sup>, e os atributos físicos do solo como porosidade e densidade do solo, condutividade hidráulica, curva de retenção de água no solo, intervalo hídrico ótimo, estabilidade de agregados.

### **2.5.1.2 Sequestro de Carbono**

Uma série de gases que existem naturalmente na atmosfera, em pequenas quantidades, são conhecidos como “gases de efeito estufa” - o vapor d'água, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o Metano (CH<sub>4</sub>), o Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), os Hidrofluorcarbono (HFCs), os Perfluorcarbono (PFCs) e os Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>). Os principais gases do efeito estufa, “prendem” a energia, da mesma forma que os vidros de um carro fechado, ou uma estufa. Esta constatação foi feita, pela primeira vez, por *Joseph Fourier*, que, em 1824, publicou a Teoria sobre o Efeito Estufa em que afirma que uma parte da energia solar, que é refletida pelos oceanos e superfície terrestre para o espaço, fica “aprisionada” na atmosfera devido ao vapor d' água e outros gases.

O Efeito Estufa, em si, é um processo natural na atmosfera, levando ao aumento da temperatura média do planeta. É causado pela presença adequada de

---

<sup>2</sup> São um filo de animais invertebrados, adaptáveis em diferentes ambientes, tem uma grande capacidade de reprodução, é muito eficiente em suas funções naturais e no caso das abelhas, formigas e cupins tem uma perfeita organização social.

<sup>3</sup> Camada superficial do solo de florestas e bosques, feita de folhas, ramos etc. em decomposição, misturados à terra.

<sup>4</sup> Minhocas, lacraias, vermes, larvas de insetos, ect.

<sup>5</sup> São, basicamente, a união de partículas primárias do solo que se juntam através da atuação de micro-organismos do solo, exsudatos de raízes de plantas e pela própria matéria orgânica do solo (chamados agentes agregantes do solo), formando, dessa forma, pequenas estruturas responsáveis pela proteção do carbono do solo e manutenção de uma estrutura ideal para o desenvolvimento das plantas. <http://blog.agropro.com.br/?p=1363>

determinados gases na atmosfera da terra, os quais são chamados de gases de efeito estufa (GEE), justamente por estarem associados a esse fenômeno. Assim, o Efeito Estufa Natural proporciona ao nosso planeta as condições ideais para o desenvolvimento da vida. A luz do sol, ao passar através da atmosfera, atinge a superfície da Terra e é irradiada de volta para a atmosfera e absorvida por gases naturais como o CO<sub>2</sub>.

Sem a ocorrência do Efeito Estufa Natural, a terra não chegaria a ser habitável e a temperatura média do planeta estaria em torno de 17<sup>0</sup> C negativos. O Efeito Estufa Natural garante que a temperatura média do planeta esteja atualmente próxima dos 15<sup>0</sup>C, não sendo assim nocivo, mas a sua intensificação sim, representando um grave problema, com consequências irreversíveis, e possivelmente catastróficas, para as sociedades humanas e para os ecossistemas e sua biodiversidade. No entanto, em função de determinadas atividades econômicas, das quais decorrem emissões de alguns GEE, principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), a concentração desses gases na atmosfera da terra vem aumentando.

O Dióxido de Carbono foi descoberto em 1754, pelo escocês *Joseph Black*. É um gás fundamental para a manutenção da vida no planeta. Sem ele, plantas e outros organismos não realizariam o processo de fotossíntese, que transforma a energia solar em energia química. Este processo é uma das fases do chamado ciclo do carbono, vital para a manutenção dos seres vivos.

A maior parte dos GEE é liberada na atmosfera através de processos naturais. O CO<sub>2</sub> é resultante de toda e qualquer combustão de matéria que contenha o elemento carbono, incluindo os combustíveis fósseis como o petróleo, carvão e gás natural. Algumas atividades também são intensivas em emissões de CO<sub>2</sub>, como os setores metalúrgicos, siderúrgico, de cimento e de transportes. As atividades que provocam mudança no uso do solo, causadas pelas queimadas florestais e desmatamentos, também são emissoras de CO<sub>2</sub>, além de reduzirem o sequestro e armazenamento de carbono no solo.

As concentrações atmosféricas desses gases aumentaram drasticamente nos últimos 100 anos, principalmente pela contribuição de origem industrial. Diante do aumento da temperatura do planeta, diversos cientistas associaram o fenômeno ao incremento da concentração de CO<sub>2</sub>, assim como, atribui-se ao aumento dessa concentração, a velocidade atual na mudança do clima, que vem ocorrendo de forma mais rápida do que em qualquer outra época da história da humanidade. Estudos

realizados pelo IPCC afirmam que as mudanças climáticas afetariam as regiões agrícolas, o nível dos mares e o clima.

ODUM (2009) afirma que em nível global o ciclo de dióxido de carbono e o ciclo hidrológico são provavelmente os dois ciclos biogeoquímicos mais importantes em relação à humanidade. Entretanto, são vulneráveis às perturbações antropogênicas e mudanças significativas nos ciclos de dióxido de carbono e da água poderão afetar nosso futuro na Terra.

Segundo BRASIL (2012) a capacidade de absorver carbono do dióxido de carbono atmosférico está entre os serviços que regulam as condições ambientais. As plantas absorvem carbono do CO<sub>2</sub> atmosférico, através da fotossíntese. Nas florestas em crescimento, o montante de carbono sequestrado aumenta, estabilizando quando elas chegam à maturidade. CARDOSO *et. al.* (2015) afirma que a quantidade de carbono sequestrado por uma determinada cobertura vegetal constitui-se em um importante indicador do serviço ambiental. Embora o total armazenado no solo seja proporcionalmente muito maior que o encontrado na biomassa aérea e de raízes<sup>6</sup>, a quantidade de carbono de árvores em plantios ou em floresta natural é sempre muito maior que a encontrada em culturas agrícolas.

Sendo assim, o serviço ambiental, denominado sequestro de carbono, tem a função de promover a qualidade e fertilidade do solo, a produtividade vegetal e o equilíbrio do clima. Da mesma forma, as florestas agem como sumidouros de carbono por terem uma potencial capacidade de absorver o CO<sub>2</sub>. Entre os indicadores econômicos ambientais para avaliação desse serviço pode-se relacionar a qualidade da matéria orgânica do solo, o estoque de carbono no solo e na biomassa vegetal aérea, a emissão de gases de efeito estufa do solo e os estoques de carbono na serapilheira.

#### **2.5.1.3 Ciclagem de nutrientes**

A ciclagem de nutrientes é um serviço ambiental de suporte (HASSAN *et al.*, 2005; LAVELLE *et al.*, 2005), ou seja, está relacionado aos processos naturais necessários para que outros serviços ambientais possam existir, tais como os serviços de provisão, reguladores e culturais. Segundo ODUM (2009) a ciclagem de nutrientes e os ciclos biogeoquímicos correspondem às vias de circulação de elementos e de nutrientes

---

<sup>6</sup> Biomassa aérea inclui tronco, galhos, sementes, folhas, vegetação rasteira, arbustos e gramíneas e a biomassa de raízes inclui as raízes vivas, exceto as muito finas de diâmetro inferior a 2mm (BIRDSEY;2006).

entre os ambientes e os organismos. A ciclagem geoquímica corresponde às entradas e saídas de nutrientes do ecossistema através de processos como precipitações atmosféricas, intemperismo geológico, aplicação de fertilizantes, erosão, lixiviação, volatilização e desnitrificação. A ciclagem biológica refere-se à circulação de nutrientes entre o solo e as comunidades de plantas e animais, incluindo os fenômenos de absorção/retenção pela biomassa e disponibilização via decomposição da matéria orgânica.

Segundo DE GROOT *et al.* (2002) são muitos os aspectos estruturais e funcionais dos ecossistemas que facilitam a ciclagem de nutrientes em escala local e global. Autores como MONTAGNINI & JORDAN (2002), VITOUSEK & SANFORD JUNIOR (1986) afirmam que em sistemas naturais ou sistemas florestais manejados, a serapilheira representa uma ligação importante no ciclo orgânico de produção e decomposição, sendo considerada como o principal compartimento de transferência de nutrientes da vegetação para o solo. CORREIA & ANDRADE (1999) acrescentam ainda que os principais formadores da serapilheira são o clima, o solo, as características genéticas da planta, a idade, a densidade e a diversidade das plantas.

Assim, pode-se afirmar que a ciclagem de nutrientes é um serviço ambiental que tem a função de regular o transporte de nutrientes entre compartimentos do ecossistema e para a água. O indicador econômico para avaliar esse serviço ambiental deve ser a abundância e diversidade de artrópodes saprófitas no solo e na serapilheira, bem como a diversidade de engenheiros edáficos.

#### **2.5.1.4 Biodiversidade do solo**

O solo, normalmente, tem por base uma composição de raízes, serapilheira e matéria orgânica e contém milhares de animais e micro organismos. Essas espécies são classificadas como fauna edáfica que é o conjunto de animais que depende diretamente do solo. Inclui milhares de espécies de organismos invertebrados que variam em tamanho, desde alguns micrômetros (microfauna) até metros de comprimento (macrofauna), com ciclos de vida que variam de alguns dias até mais de 10 anos (BROWN *et al.*, 2015). Segundo pesquisa sobre a biodiversidade do solo existem no mundo 6.5 milhões de espécies terrestres (MORA, *et al.*, 2011)

A fauna edáfica é importante para os ecossistemas terrestres porque está relacionada com a decomposição, que se dá por fungos e bactérias, é um processo

através do qual são liberados elementos necessários para as plantas e florestas. No entanto, estudos (CANELLAS *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2008; RANGEL & SILVA, 2007) apontam que a remoção da cobertura natural e a utilização da terra para atividades que provocam o desequilíbrio do ecossistema, como a atividade agropecuária, influenciará os processos físicos, químicos e biológicos do solo, alterando suas propriedades químicas e físicas.

Entre os serviços ambientais prestados pela biodiversidade do solo pode-se citar: a água disponível no solo (por mudanças na estrutura e agregação do solo); produção de alimentos e produtividade primária e secundária (efeitos no crescimento das plantas, produção de biomassa vegetal e animal); produtos farmacêuticos (oriundos dos organismos ou seus subprodutos); ciclagem de nutrientes e dinâmica da decomposição da matéria orgânica, inclusive, sequestro de carbono; troca de gases entre o solo e a atmosfera (incluindo a emissão de GEE); pedogênese (formação dos solos); conservação da biodiversidade (por alteração do solo como habitat para outros organismos); controle de erosão e enchentes (por mudanças na estrutura física do solo e de regime hídricos edáficos); polinização<sup>7</sup> (principalmente por insetos); dispersão de sementes; tratamento de resíduos (por decomposição de resíduos ou degradação de pesticidas); recreação (isca para pescar); e educação ambiental (manejo das terras e culturas agrícolas) (BROWN *et al.*, 2015).

Dessa forma, a estrutura do solo, geralmente avaliada pela distribuição e estabilidade dos agregados, tem sido proposta como um importante indicador da qualidade do solo (CASTRO FILHO *et al.*, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 1996; SALTON *et al.*, 2008) *apud* PORTUGAL (2010), assim como, outras propriedades físicas do solo alteradas pela compactação, como as características de retenção de água e a infiltração LEÃO *et al.* (2004) *apud* PORTUGAL (2010). O serviço ambiental de conservação da biodiversidade do solo também pode utilizar como indicador econômico a diversidade florística de espécies lenhosas e herbáceas, a largura da floresta ripária, a quantidade de pesticidas em água superficial e de lençol freático e a diversidade de artrópodes do solo e serapilheira.

---

<sup>7</sup>É o ato da transferência de células reprodutivas masculinas (núcleos espermáticos) através dos grãos de pólen(espermatozoides das plantas) que estão localizados nas anteras de uma flor, para o receptor feminino (estigma) de outra flor (da mesma espécie), ou para o seu próprio estigma. Pode-se dizer que a polinização é o ato sexual das plantas espermatófitas, já que é através deste processo que o gameta masculino pode alcançar o gameta feminino e fecundá-lo.

### **2.5.1.5 Água**

Os serviços ambientais hídricos são aqueles decorrentes da existência e da dinâmica dos corpos hídricos e que propiciam benefícios diretos e indiretos, assim como recursos necessários às atividades e condições de vida e bem estar humanos (BRAUMAN *et al.*, 2007; FALKENMARK, 2004; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005; ROCKSTROM, 2004).

As massas de água não são sistemas fechados, mas fazem parte de bacias de drenagem ou sistemas hidrográficos. Nesse contexto, destaca-se o conceito de bacias hidrográficas que são porções da superfície terrestre que drenam águas superficiais e subsuperficiais, delimitadas por divisores topográficos (ou divisores de águas). Além disso, a bacia hidrográfica é muito mais abrangente, pois os ambientes aquáticos fazem parte de sistemas maiores, que envolvem os aspectos de geologia, vegetação, clima, uso e ocupação do solo e são formados por um mosaico de subsistemas funcionais interligados por processos bióticos e abióticos (BRIGANTE & ESPÍNDOLA, 2003; HENRY-SILVA & CAMARGO, 2000; SCHIAVETTI & CAMARGO, 2002; SMITH & PETRERE JR., 2001).

O funcionamento e a estabilidade de uma bacia hidrográfica ao longo dos anos são determinadas, em grande parte, pelas taxas de influxo e efluxo de água, materiais e organismos de outras áreas da bacia para os corpos d'água. Segundo ODUM (2009) se ocorre um influxo de materiais, como esgoto ou efluentes industriais, quando as massas de água são pequenas ou quando o efluxo está restrito, o rápido acúmulo de tais materiais poderá destruir o sistema. Ainda segundo o autor, a erosão do solo e a perda de nutrientes de uma floresta perturbada ou de um campo cultivado inadequadamente não apenas empobrecem estes ecossistemas como também provocam impacto rio abaixo. Sendo assim, a bacia hidrográfica deve ser gerenciada como um todo, buscando as causas e as soluções para problemas e conflitos.

### **2.5.2 Indicadores biofísicos**

O conceito de ecossistemas tem sido extremamente útil na educação do público sobre nossa dependência nos sistemas naturais, porém, isto também tem implicação para a ciência e a prática da restauração ecológica (PALMER *et al.*, 2014). Para atender a demanda no entendimento da provisão e valor dos serviços

ecossistêmicos, os ecologistas e cientistas da natureza selecionam indicadores ecológicos para monitoramento, modelagem e mapeamento (BOYD, 2014). Ainda segundo o autor, esses seriam os indicadores de ligação, que são os indicadores biofísicos que melhor facilita a interpretação social das condições ecológicas e suas mudanças, ou seja, são os indicadores que medem as condições do ecossistema que afetam diretamente o bem estar das pessoas.

A aplicação de indicadores biofísicos tem a finalidade de avaliar a sustentabilidade de sistemas de produção de serviços ambientais, como forma de mostrar o comportamento do ecossistema, no caso do PSA, conforme as ações implementadas de recuperação ou preservação, além de mostrar para a sociedade os resultados da política ambiental. PALMER et al. (2014) afirma que todos os projetos devem ser avaliados no contexto dos benefícios ambientais relativos e dos custos econômicos e sociais das alternativas. Entende-se que as consequências para a sociedade justificam potencialmente as ações de proteção e gerenciamento ambiental e as suas preferências indicam o cerne para entendimento das causas e soluções da maior parte dos desafios ambientais. Muitas vezes, a escolha do indicador reflete um equilíbrio entre vários objetivos e desafios, ou ainda, que conectem a análise dos resultados entre o aspecto social e ambiental, apesar de nem sempre serem os mais relevantes para a análise do aspecto ecossistêmico.

Segundo BOYD (2014) os indicadores biofísicos são os que melhor facilitam a interpretação social nas condições ecológicas e suas mudanças. Eles são definidos como os indicadores que medem os fatores que afetam diretamente o bem estar da população. Cabe destaque a heterogeneidade da população e a forma como a natureza contribui para o seu bem estar. Nesse sentido os indicadores podem, e devem ser adaptados a tipos específicos de ecossistemas e beneficiários, como por exemplo, a qualidade do solo, a disponibilidade de água subterrânea e os polinizadores importam diretamente aos proprietários de terras, enquanto para a população urbana, muitas vezes, pode ser complexo o entendimento da relevância desses serviços para o próprio bem estar. O desafio, no entanto, é a conexão entre a análise ecológica e as entregas que os *stakeholders* esperam. Entretanto, os resultados biofísicos é que são os alimentadores do processo de avaliação dos resultados ecológicos. Os indicadores podem identificar as mudanças ocorridas na cobertura vegetal, na qualidade da água, na concentração de sedimentos, ou até mesmo, ligando fatores ecológico e econômico, como a diminuição dos prejuízos causados pela inundação através de projetos de PSA.

## 2.6 Valoração dos serviços ambientais

Segundo HAWKEN *et al.* (1997), a Teoria Econômica reconhece quatro tipos de capital – humano, financeiro/econômico, manufaturado e natural. Os serviços ambientais são equivalentes ao capital natural. Entretanto, as economias desenvolvidas vêm focando primordialmente nos três primeiros, que são considerados fatores limitantes para o desenvolvimento, e são os que transformam o capital natural, que é considerado livre e abundante, para consumo de produtos e serviços.

Os serviços ambientais tendem a ser caracterizados como bem público e de livre acesso, o que leva a uma percepção de que os serviços ambientais não têm título de propriedade e, portanto, os custos de transações são proibidos. Por outro lado, por ser considerado um bem público, esses serviços não podem excluir aqueles que usam ou se beneficiam deles, o que leva a uma desmotivação para gerenciar os serviços ambientais de forma sustentável. COSTANZA *et al.* (1997) afirma que como os serviços ambientais não são negociados ou quantificados como os bens econômicos e manufaturados, muitas vezes eles não são levados em consideração nas decisões políticas.

Os defensores da valoração dos serviços ambientais acreditam que a valoração pode contribuir em alguns aspectos, como: o entendimento de problemas e escolhas, podendo ser usado diretamente na tomada de decisões; ilustrar a distribuição dos benefícios e então facilitar o compartilhamento de custos para o gerenciamento das iniciativas; e induzir a criação de inovação institucional e instrumentos de mercado que promovam o gerenciamento sustentável do ecossistema (ALYWARD AND BARBIER, 1992; ARMSWORTH & ROUGHGARDEN, 2001; DAILY, 1997; DASGUPTA *et al.*, 2000; SALZMAN *et al.*, 2001; SINDEN, 1994). KUBISZEWSKI *et al.* (2017) afirma que a projeção do cenário de reforma da política deve explorar os requisitos para alcançar simultaneamente as metas sociais e ambientais de sustentabilidade, em condições de crescimento econômico acompanhando as forças de mercado.

Como exemplo, pode-se citar a Cidade de Nova York que necessitava de ações urgentes que garantissem o suprimento de água potável para sua população. Em 1997, a poluição nas águas de Nova York levou a adoção de um experimento ousado para solução da crise no abastecimento de água potável na cidade. Ao invés de contar com a tecnologia através de projetos de tratamento de água, a administração da cidade



investiu no capital natural. Os administradores decidiram que investimentos na recuperação ecológica da Bacia Hidrográfica nas montanhas de *Catskills* custariam menos, em um longo prazo, do que a construção de uma nova planta para uma estação de tratamento de água (PCAST, 1998 *apud* CHEE, 2004). Segundo CHICHILNISKY & HEAL (1998) a decisão salvou bilhões de dólares. O investimento realizado foi destinado na recuperação do patrimônio natural na Bacia Hidrográfica de *Catskills – Delaware* que tem capacidade de fornecer água limpa para mais de dez milhões de consumidores. Segundo CHEE (2004) a recuperação da bacia poderia prover serviços ambientais adicionais como o controle das enchentes e erosões, a captura de carbono e benefícios cênicos. Para financiar as iniciativas de recuperação da bacia foram emitidos títulos ambientais para arrecadar fundos, que foram usados para aquisição de terras, conter o desenvolvimento na bacia, compensar os proprietários de terras pelas restrições nas atividades e subsidiar o incremento do saneamento. A Prefeitura de Nova York comprou as terras ao redor de várias nascentes e reservatórios, além de terras ao longo dos cursos d'água para promover a recuperação e preservação de suas matas ciliares. Paralelamente, a Prefeitura promoveu a implantação de pequenas estações para tratamento de esgotos e resíduos provenientes das atividades locais e nomeou os próprios fazendeiros da região de *Catskill* como protetores das águas, remunerando-os por esses serviços ambientais. Além disso, alterou-se a regulação da bacia que passou a ter controle de aspectos como:

- Fontes de poluição;
- Sistema de esgoto, fossas sépticas e poluição de águas pluviais;
- Restrição de contaminantes;
- Prevenção da degradação;
- Controle da descarga de efluentes;
- Proibição de impermeabilização dentro de 94,44 metros (300 pés) das reservas, ou 30,48 metros (100 pés) dos cursos d'água e manguezais.

Essas regras existem para vilas, aldeias, áreas de zona comercial e residências. Adicionalmente, regras para construção de novas estradas, localização de postos de gasolina e diversos projetos de indústria e comércio precisam de um Plano de Poluição das Águas Pluviais. Desde então, a cidade tem investido para mudar a forma do gerenciamento das terras e para compra de terras ao redor dos reservatórios com o

objetivo de preservar florestas e áreas úmidas que amortecem a poluição, para pagamento aos proprietários de terras com a finalidade de recuperar a mata ciliar e oferecer ajuda técnica e infraestrutura aos fazendeiros e silvicultores. Os pontos principais da implantação desse projeto são:

- Fornecer água limpa para os habitantes da cidade com baixo custo;
- Recompensar os proprietários da área rural pela correta administração da terra;
- Proporcionar uma bela paisagem e evitar o crescimento urbano de forma incontrolável.

Pelo acordo entre as partes - *Memorandum of Agreement* (MOA) - um Fundo de Educação foi criado para um programa de educação pública aos redores do Rio Hudson. Assim, destacou-se o papel crítico das comunidades da Bacia, a ecologia da Bacia Hidrográfica, a diversidade e importância da vida aquática e a conscientização sobre a natureza e importância do sistema de abastecimento de água da cidade e dos habitantes da bacia hidrográfica como protetores da qualidade da água.

O Relatório do Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos – *World Water Assessment Programme* - liderado pela UNESCO em 2015, afirma que a gestão das áreas de captação de água em Nova York faz a cidade economizar um valor estimado de US\$300,000,000.00 (Trezentos milhões de dólares) por ano, o que representa R\$973.800.000,00 (Novecentos e setenta e três milhões e oitocentos mil reais) convertido no valor da moeda americana em 02 de agosto de 2017. Atualmente, o sistema *Catskill* e *Delaware* fornece aproximadamente 90% do total da água potável para a cidade de Nova York.

Neste caso, verifica-se que o acordo de PSA é específico entre governo e proprietários. Entretanto, outros tipos de mercado são estabelecidos para o PSA. Um mercado, em qualquer contexto, é a ocorrência da venda e compra de um bem ou de um serviço. Segundo SANDRONI (1994) um mercado existe quando compradores que pretendem trocar dinheiro por bens e serviços estão em contato com vendedores desses mesmos bens e serviços. Desse modo, o mercado pode ser entendido como o local, teórico ou não, do encontro regular entre compradores e vendedores de uma economia determinada. Assim ocorre com o PSA, no qual precisa existir um serviço ambiental bem definido a ser comprado e um vendedor, que seja o provedor desse serviço, na condicionalidade de continuar o fornecimento desse serviço. DE CARLI (2017) define o

PSA como uma transação comercial entre o fornecedor do serviço e o usuário. Os serviços ambientais precisam ser incorporados na economia de mercado e precificados refletindo sua escassez, embora muitos serviços ambientais, pela sua característica, desafiem sua mercantilização. É necessário que ocorra a transformação da sociedade no sentido de avaliar os serviços ambientais como “bens livres”. O Dicionário de Economia (SANDRONI, 1994) define Bens Livres como “os bens que satisfazem necessidades e suprem carências, mas são tão abundantes na natureza que não podem ser monopolizados nem exigem trabalho algum para serem produzidos, não tendo, portanto, preço; como por exemplo, o ar ou a luz do sol”.

O grau de substituição de um produto ou serviço é também um importante conceito econômico, que determina a facilidade ou dificuldade com que os consumidores substituem uma mercadoria por outra. Assim, SIMPSON (1998) afirmou que os bens ambientais são realmente únicos, no sentido de que não há bens substitutos para eles. Alguns economistas entendem que o grau de substituição de um bem depende da análise na escala espacial e temporal e do papel dele no todo. Para efeito de análises econômicas a maioria dos recursos e processos naturais é considerada fungível, ou seja, passível de ser substituída por outra coisa de mesma espécie, qualidade, quantidade e valor, como afirmam GOODLAND (1995), NORTON (1995) e DASGUPTA *et.al.* (2000). Essa visão produz um otimismo tecnológico que acredita na solução de problemas através da substituição do capital natural por bens artificiais. Na realidade, a substituição de bens naturais não irá promover a equivalência das funções desses serviços ambientais, como a provisão da cadeia alimentar, o papel do ecossistema na formação do solo, a regulação do ciclo biogênico ou a camada de ozônio, por exemplo. Ressaltando a teoria da insubstituibilidade dos bens ambientais, PALMER *et al.* (2014) destaca que o conceito de restauração de serviços ecossistêmicos difere do gerenciamento de uma ou várias espécies, na medida em que a restauração é necessariamente focada no uso ou no desejo humano para o serviço, enquanto o gerenciamento é muitas vezes, mas não necessariamente, motivado por objetivos utilitários.

O mercado de serviços ambientais para operar de forma eficiente precisa de um suporte na legislação. O direito de propriedade precisa estar bem definido, verificável e aplicável, transferível e de baixo risco (MURTOUGH *et al.*, 2002). Além disso, o bem a ser vendido, precisa ser valorado. Tradicionalmente, a economia tem se preocupado com o uso direto dos valores direcionado na quantidade e análise dos bens e

serviços que produzem benefícios tangíveis. Atualmente, alguns economistas têm ampliado seu escopo, reconhecendo a crescente valorização para o uso indireto, não uso, existência, legado e valores de opção de ecossistemas. Assim, se desenvolve técnicas para ampliar as avaliações monetárias aos serviços ambientais (TIETENBERG, 1992).

Valor é um conceito fundamental da economia política que designa o atributo que dá aos bens materiais sua qualidade de bens econômicos. Desde Aristóteles começou a ser estabelecida a distinção entre o valor de uso e o valor de troca: o primeiro diz respeito às características físicas dos bens que os capacitam a ser usados pelo homem, ou seja, a satisfazer necessidades de qualquer ordem, materiais ou ideais; o segundo indica a proporção em que os bens são intercambiados uns pelos outros, diretamente ou indiretamente, por intermédio do dinheiro.

Valor de Troca, segundo ADAM SMITH (1776), é a faculdade que a posse de determinado objeto oferece de comprar com ele outras mercadorias. É a capacidade de obter riquezas. O economista parte da concepção de que a troca das mercadorias é, na realidade, a troca do trabalho necessário para a produção dessas mercadorias.

Na teoria subjetiva de valor, Menger<sup>8</sup> (1871) define Valor de Troca como a importância que determinados bens têm para os indivíduos. Isso porque a propriedade desses bens lhes permite satisfazer suas necessidades por meio da troca deles.

Valor de Uso, segundo ADAM SMITH (1776), é a utilidade de um objeto. As coisas que têm maior valor de uso têm, em geral, pouco ou nenhum valor de troca. Para Menger (1871), teórico da subjetividade do valor, valor de uso é a importância que adquirem os bens, enquanto asseguram à satisfação das necessidades, em circunstâncias tais que, se não dispuséssemos deles, não poderíamos satisfazê-las.

---

<sup>8</sup> Menger, Karl – Economista austríaco (1840-1921) fundador da escola austríaca. Desenvolveu uma teoria subjetiva do valor (Teoria da Utilidade Marginal), ligando-o à satisfação dos desejos humanos. Para ele, as trocas ocorrem porque os indivíduos têm avaliações subjetivas diferentes de uma mesma mercadoria. Menger constatou que a intensidade de um desejo decresce com a sua satisfação e daí concluiu que o valor de um bem é determinado por sua última porção, ou seja, por sua porção menos desejável, que vem a ser o princípio da Utilidade Marginal. Em 1870, Karl Menger, em Viena, Leon Walras, em Lausanne, e William Jevons, em Cambridge fundamentaram a Teoria Subjetiva do Valor, segundo a qual o valor de uma mercadoria seria decorrência de sua utilidade final, ou seja, a partir de escalas individuais de preferência.

## **2.6.1 Métodos de valoração econômica dos bens e serviços ambientais**

### **2.6.1.1 Método da Produtividade Marginal**

É baseado na estimativa da contribuição dada pelo ecossistema na produção de produtos comercializáveis como água potável e peixes. É uma avaliação da causa e efeito. Segundo MAY *et al.* (2003) esse método visa achar uma ligação entre uma mudança no provimento de um recurso ambiental e a variação na produção de um bem ou serviço de mercado. Esse método envolve a estimação de uma função de dano, ou função causa-efeito que relaciona o dano físico observado com diferentes níveis de qualidade do recurso ambiental analisado.

A principal limitação do método é a falta de dados adequados, geralmente não disponíveis, e o entendimento de causa-efeito entre o serviço ambiental valorado e o produto. Os ecossistemas são sistemas complexos e dinâmicos que interagem em cadeia no tempo e no espaço.

MAY *et al.* (2003) utiliza como exemplo do Método da Produtividade Marginal a redução da qualidade do solo. Para isso seria necessário estimar uma função de dano relacionando alguma propriedade que represente a qualidade do solo com diferentes níveis de poluição atmosférica. Em seguida, relaciona-se o dano físico (redução da qualidade do solo) com a produção da *commodity* agrícola, através da função de produção desta. Uma vez identificada a variação na produção devida à variação na qualidade ambiental do solo – que por sua vez foi afetada pelo recurso ambiental poluição atmosférica –, podemos utilizar o preço de mercado do produto agrícola em análise para multiplicar pela quantidade que deixou de ser produzida e, com isso, obter uma parcela do dano ambiental causado pela poluição atmosférica.

### **2.6.1.2 Método de Custo de Reposição**

A abordagem do Custo de Reposição avalia o valor de substituição ou restauração de um ecossistema após ele ter sido degradado. As despesas efetivamente realizadas para substituição ou restauração é uma medida do mínimo da “disposição a pagar” para restaurar ou continuar a receber o benefício promovido por aqueles ecossistemas.

BINGHAM *et al.* (1995) and BOCKSTAEL *et al.* (2000) afirmam que os valores, baseado na restauração de um ecossistema, são válidos somente, se os envolvidos estivessem dispostos a incluir estes custos, já que os serviços ambientais não estão mais disponíveis.

O Método do Custo de Reposição pode promover a exclusão das comunidades mais pobres por estarem incapacitados de expressar a força, neste caso a monetária, de suas preferências pelos serviços ambientais.

### **2.6.1.3 Método de Custo de Viagem**

Estima o uso de valor recreativo através da análise dos gastos incorridos pelos visitantes para ir a determinado lugar. É um método de pesquisa que, em geral, utiliza questionários aplicados a uma amostra de visitantes. O objetivo é levantar dados como: o lugar de origem do visitante, seus hábitos e os gastos associados à viagem. Assim, estima-se o valor de uso desse lugar.

Como exemplo, pode-se citar locais para pescaria recreativa. A pesquisa deve coletar informações como: custo da viagem, taxas, gastos no local, despesas com equipamento de pescaria. O método propõe que quando o recurso ambiental é utilizado para atividades recreativas, gera um fluxo de serviços que pode ser mensurado. Segundo MAY *et al.* (2003) cada visita ao lugar de recreação envolve uma transação implícita, na qual o custo total de viajar a esse lugar é o preço que se paga para utilização dos serviços recreativos do parque, praia, lago, etc.

CHEE (2004) relata que a aplicação do método gera uma dificuldade em discernir o ponto em que os custos agregados refletem os valores da preocupação com o recurso natural. O autor cita o exemplo de um ecossistema próximo a um centro urbano, no qual, provavelmente, haverá maior frequência de visitantes e assim, o valor monetário agregado será maior, sem necessariamente refletir a dimensão da preocupação com aquele ecossistema. Os frequentadores não conseguem reconhecer a importância ou a existência das características de um ecossistema, estando assim, ausente na avaliação. Os serviços ambientais muitas vezes não são visíveis, de fácil apreciação e compreensão, como a capacidade da ciclagem de nutrientes, a regulação de fluxos, o controle de sedimentos e a polinização e, portanto, sendo improvável que façam parte da avaliação pelos usuários do recurso natural.

#### **2.6.1.4 Método dos Preços Hedônicos**

MAY *et al.* (2003) descreve esse método como aquele que pretende estimar um preço implícito por atributos ambientais característicos de bens comercializados em mercado, através da observação desses mercados reais nos quais os bens são efetivamente comercializáveis.

Aspectos ambientais contribuem na valoração de áreas particulares, como aqueles que apresentam características tais como: fertilidade do solo, proximidade com cursos d'água, ar puro, floresta urbana, oportunidades recreativas, paz e sossego, entre outros. Entretanto, nem sempre é possível encontrar variáveis adequadas para medir atributos ambientais para construir um modelo e estimar parâmetros. CHEE (2004) afirma que, com as premissas não muito claras, provavelmente, o método fornecerá estimativas imprecisas das externalidades ambientais, e, se os compradores não dispõem de informações confiáveis sobre as variáveis ambientais relevantes, não serão capazes de maximizar a sua utilidade.

#### **2.6.1.5 Método da Valoração Contingente**

GARROD & WILLIS (1999) afirmam que o Método da Valoração Contingente é baseado num mercado hipotético em que as pessoas manifestam suas demandas, através de questionários ou entrevistas, por um determinado bem ou serviço ambiental. Segundo PORTNEY (1994) esse método é visto com alguma reserva por não se basear no comportamento real do mercado. Entretanto, diante da sua ampla utilização, FREEMAN (1993) afirma que ele é capaz de provocar valor monetário para os produtos que não têm valor de troca.

MAY *et al.* (2003) explica que são criados mercados hipotéticos do recurso ambiental, ou cenários envolvendo mudanças no recurso, e as pessoas expressam suas preferências através da disposição a pagar para evitar a alteração na qualidade ou quantidade do recurso ambiental. Segundo o autor, a grande vantagem do método sobre os demais é que permite a estimação de valores de existência. Cria-se um cenário hipotético em que os indivíduos expressam suas preferências, e esse cenário não precisa estar relacionado ao uso ou ao conhecimento prévio do recurso ambiental pelos indivíduos.

CHEE (2004) afirma que propostas sem valor podem vir dos entrevistados que acreditam verdadeiramente que o que está sendo avaliado não vale nada, ou ainda por outras razões não indicam um valor para o produto ou serviço. Muitos argumentam de que o que está sendo valorado deve ser protegido a todo custo, ou, podem ter uma objeção ética para o comércio que está sendo solicitado.

STEVENS *et al.* (1993), VATN & BROMLEY (1994) e SAGOFF (1998) *apud* CHEE (2004), afirmam que os pesquisadores também concluíram que os entrevistados frequentemente respondem, na sua qualidade de cidadão, baseado na sua “disposição a pagar” ou na sua “disposição de aceitar compensação” pelo próprio desejo de fazer a sua parte ou com preocupações éticas para o que eles acreditavam ser o melhor ou pior, certo ou errado, do ponto de vista social.

### ***2.6.2 Tipos de mercados para PSA***

Os mercados de PSA estão definidos em três formas distintas, segundo o MANUAL DE PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS (2009):

- Sistema público de pagamento aos proprietários dos terrenos privados;
- Mercados formais com intercâmbio aberto entre compradores e vendedores;
- Negociações privadas auto organizadas.

#### ***2.6.2.1 Sistema público de pagamento aos proprietários dos terrenos privados***

São específicos quando os governos estabelecem programas exclusivos com foco em um determinado programa. Envolvem pagamentos diretos de um órgão do governo ou de outra instituição pública, aos proprietários ou administradores.

Ele tem a finalidade de manter ou melhorar os serviços ambientais e é específico para os países nos quais os governos estabeleceram programas exclusivos, como México e Costa Rica.

Embora as especificidades variem de acordo com o foco do programa e país, eles geralmente envolvem pagamentos diretos de um órgão do governo, ou de outra instituição pública, aos proprietários ou administradores.

Nos estados do Paraná e de Minas Gerais, 5% (cinco por cento) das receitas recebidas pelo Imposto de Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) é distribuído



para municípios com unidades de conservação ou áreas protegidas ou para municípios que forneçam água para municípios vizinhos.

#### ***2.6.2.2 Mercados formais com intercâmbio aberto entre compradores e vendedores***

Esses podem ser mercados reguladores de serviços ambientais ou mercados voluntários:

***2.6.2.2.1 Mercados reguladores de serviços ambientais*** - São estabelecidos através de legislação que cria demanda para um determinado serviço ambiental através da fixação de um limite sobre os danos, ou sobre os investimentos focados em um serviço ambiental.

Os utilizadores do serviço respondem consentindo diretamente ou negociando com outros que são capazes de cumprir o regulamento a custos menores. Os compradores são definidos pela legislação, mas são geralmente, empresas privadas ou outras instituições. Os vendedores também podem ser empresas ou outras entidades que a legislação permita.

***2.6.2.2.2 Mercados voluntários*** - É como ocorre a maioria das trocas de emissões de carbono nos Estados Unidos. A empresa ou organização que pretende reduzir as suas pegadas de carbono são motivadas a se engajarem no mercado voluntário para reforçarem suas marcas, a fim de antecipar uma regulação emergente, em resposta às partes interessadas e/ou pressão dos acionistas, ou outras motivações.

O Mercado de Carbono, estabelecido pelo Protocolo de Quioto, é o melhor exemplo. Atividade florestal que sequestram carbono por meio da promoção de estabelecimento e crescimento florestal é um dos mecanismos para a redução de emissões nesses mercados.

#### ***2.6.2.3 Negociações privadas auto organizadas***

São as negociações nas quais os beneficiários individuais dos serviços ambientais negociam diretamente com os prestadores de tais serviços:

- Mercado voluntário, nesse caso, é uma categoria de pagamentos de serviços ambientais privados.

- Outras ofertas privadas de PSA que ocorrem onde não há regulamentação formal do mercado de PSA, ou seja, onde há pouco envolvimento do governo.

Nestes casos, os compradores de serviços ambientais podem ser empresas privadas ou conservacionistas que não são obrigados a mudar seus padrões de produção, ou não querem, mas que pagam para aqueles que podem mudar as práticas de gestão, com a finalidade de melhorar a qualidade dos serviços que o comprador deseja manter, ou do qual ele é dependente. Dessa forma, os poluidores podem comprar ou recompensar aqueles que contribuem para a preservação.

A *Perrier Vittel* adquiriu 600 (seiscentos) acres de *habitats* sensíveis e assinaram um contrato de longa duração de conservação com os agricultores locais. Os fazendeiros da Bacia do Reno-Mosa, no nordeste da França, receberam uma indenização para adotarem uma criação de gado menos baseada em pastagem, melhorarem a gestão dos resíduos animais e reflorestarem as zonas sensíveis de filtragem.

### **2.6.3 Falhas de mercado**

Através de uma perspectiva econômica pode-se afirmar que a poluição é uma falha de mercado que distorce os parâmetros de um mercado perfeito. Conceitualmente, falha de mercado é a situação em que o custo marginal social não é igual ao benefício marginal. São situações nas quais o desejo individual pode acabar prejudicando a sociedade caso não haja um intervencionismo. Cabe ao governo agir como um mediador para corrigir as falhas de mercado.

Em se tratando de bem público, já conceituado anteriormente, a falha de mercado ocorrerá em função de uma externalidade, e identificando-se essa falha de mercado, os incentivos poderão ser restaurados através de uma política ambiental. Segundo THOMAS (2012), os bens públicos geram uma falha de mercado porque as características de não rivalidade e não exclusividade impedem que os incentivos naturais de mercado alcancem um resultado alocativamente eficiente. O autor destaca ainda que, os economistas moldam problemas ambientais como falhas de mercado utilizando tanto a teoria dos bens públicos como a teoria das externalidades. Se o mercado for definido como “qualidade ambiental”, a fonte da falha de mercado é o fato

de a qualidade ambiental constituir um bem público, ou se o mercado for definido como o bem cuja produção ou o consumo gera prejuízo ambiental, a falha de mercado será em função de uma externalidade. Sendo assim, o PSA é uma ferramenta que foi criada, segundo DE CARLI (2017), para corrigir falhas de mercado ligadas à externalidade do serviço ecossistêmico, respondendo à necessidade de melhorar a eficiência e equidade distributiva na produção de um serviço ecossistêmico determinado, em relação a um nível de base de referência.

As externalidades ambientais podem afetar a terra, o ar, a água, ou seja, os bens públicos, e podem ultrapassar fronteiras de regiões ou países. Entretanto, se os efeitos estiverem definidos em uma área mais restrita, estes podem ser solucionados de forma mais eficiente através da internalização das externalidades, induzindo os *stakeholders* a dar suporte aos custos ou benefícios externos através de políticas e programas governamentais, com o objetivo de proteger a saúde e o bem estar da sociedade. Sendo assim, o governo necessita avaliar e gerir os riscos que envolvem a tomada de decisões diante das incertezas e implicações para a saúde humana e dos ecossistemas no longo prazo. Pela visão econômica, a gestão dos riscos ambientais deve ser orientada pelos custos e benefícios da redução da externalidade.

DALY (1991) propôs um Produto Nacional Líquido Socialmente Sustentável (PNLSS) que considera o custo das medidas de proteção e a depreciação do capital natural, onde:

$$\text{PNLSS} = \text{PNL} - \text{CMP} - \text{DCN}$$

que se lê: Produto Nacional Líquido (PNL); Custo das medidas de produção (CMP); Depreciação ou empobrecimento do capital natural (DCN).

O depauperamento do capital natural é, em muitos casos, o mais sério problema, porque diminui os estoques reduzindo o fluxo sustentável dos recursos e serviços obtidos dos ecossistemas. Estes devem ser avaliados através do custo de reposição ou de disposição a pagar atribuindo-lhes valor e serem subtraídos do PNL (THOMAS, 2012). PEARCE *et al.* (1989) sugere correções quanto ao uso de recursos defensivos contra poluição e/ou degradação as quais provocam impactos negativos sobre o bem estar econômico da sociedade. Assim, ele sugere:

$$\text{BEC} = \text{CM} - \text{DDH} - \text{DPR}$$

que se lê: Bem estar corrente (BEC); Consumo total medido (CM); Dispendio defensivo dos habitantes (DDH); Danos oriundos da poluição residual (DPR).

A análise de riscos também é parte importante para a eficácia de políticas públicas, ao se considerar que uma política pública é uma resposta formal aos riscos que a sociedade está submetida. Sendo assim, cabe uma definição de risco ambiental, que vem a ser o risco involuntário da exposição a perigos, sendo que alguns perigos são relativamente de menor impacto, mas afetam uma grande parte da população, e outros são perigos de elevado impacto, mas a exposição a eles é limitada. Diante do importante papel que a análise de riscos desempenha na tomada de decisões, os formuladores de políticas públicas utilizam métodos para avaliar, caracterizar e reagir ao risco ambiental como mostra a Figura 2.1.

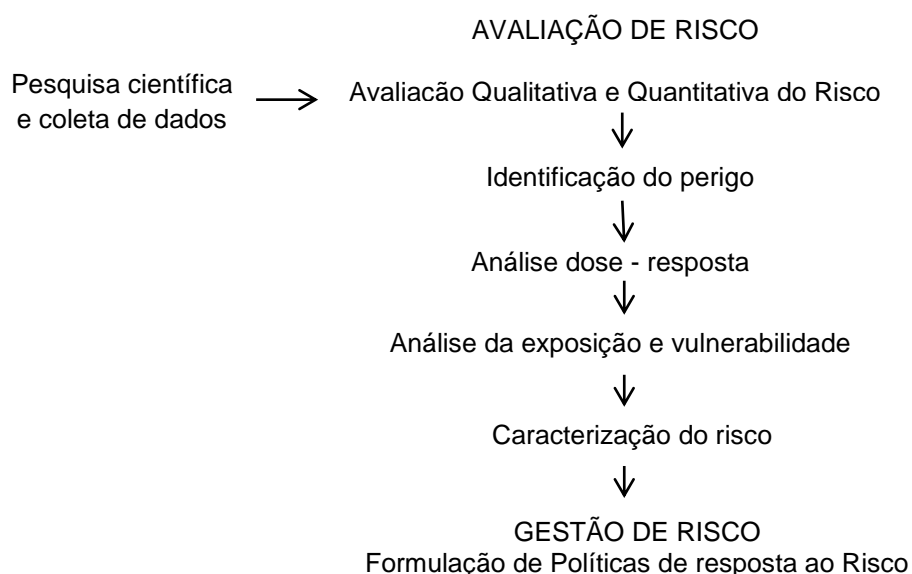


Figura 2.1 – Processo de Avaliação de Risco  
Fonte: *NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES*( 1983)

Após a identificação de um perigo faz-se necessário investigar o seu potencial e quantificar a reação humana ou ambiental aos variados níveis de dosagem. A relação dose-resposta é uma relação quantitativa entre as dosagens de um dano e as reações correspondentes. Através da utilização dos dados coletados no estágio de identificação do perigo, a análise dose-resposta busca mostrar um perfil dos danos. THOMAS (2012) destaca que um aspecto importante da análise é determinar se algum nível de exposição ao perigo é seguro, que é denominado de nível de limiar de exposição, que é o ponto até o qual não existe resposta baseada em evidência científica.

A implementação do processo da gestão de riscos envolve uma série de decisões que visam duas tarefas principais, segundo THOMAS (2012):

- Determinar qual o nível de risco é “aceitável” para a sociedade;
- Avaliar e selecionar o “melhor” instrumento de política para alcançar esse nível de risco.

A partir daí, deve-se observar o nível de risco estabelecido, os custos e os benefícios impostos à sociedade em consequência da implantação ou não, da política escolhida.

Ao longo do tempo, várias estratégias da gestão de riscos foram desenvolvidas para avaliação, como a análise comparativa de riscos, a análise risco benefício e a análise custo benefício. No trabalho corrente, utilizar-se-á a análise custo benefício para avaliar a implantação do PSA como instrumento para prevenção de enchentes.

#### ***2.6.4 Análise custo benefício***

A análise custo benefício é mais utilizada quando a eficiência alocativa é o principal critério de decisão, ou seja, trata da alocação apropriada de recursos, entre usos alternativos, o que facilita a escolha do instrumento ou política pública a ser implementada.

Segundo ADLER E POSNER (1999), a análise custo benefício analisa projetos visando a maximização do bem estar social, uma vez que avalia e compara propostas de mudança do estado atual, seja através da execução de um projeto ou implantação de políticas públicas para mitigação de danos.

Os principais passos para avaliar opções de adaptação utilizando a Análise Custo Benefício são descritos abaixo, de acordo com o Relatório da Aplicação de Metodologia Custo-Benefício (GVces, FGV- EAESP; 2014):

1. Determinar um objetivo de adaptação e suas potenciais opções de realização, sendo que o objetivo deve ser bem definido e quantificável em termos monetários;
2. Estabelecer uma linha de base com dois cenários, um sem a aplicação da medida de adaptação e outro com a implementação bem sucedida da opção de

adaptação, para assim poder determinar os custos e benefícios comparando-se os dois cenários;

3. Quantificar e agregar os custos sobre períodos de tempo específicos: custos sobre uma medida adaptativa incluem custos diretos e indiretos;
4. Quantificar e agregar os benefícios sobre períodos de tempo específicos: a caracterização dos benefícios de uma medida adaptativa devem incluir os danos evitados decorrentes dos impactos das mudanças climáticas e seus co-benefícios, caso seja relevante;
5. Comparar os custos e benefícios agregados: para escolher uma medida adaptativa é necessário comparar os valores pecuniários dos custos e benefícios.

Para a tomada de decisão, pelo viés econômico, pode-se escolher entre três indicadores para determinar se as opções são eficientes:

- Valor Presente Líquido (VPL)<sup>9</sup>
- Relação Custo Benefício (RCB)
- Taxa Interna de Retorno (TIR)<sup>10</sup>

Assim sendo, a análise custo benefício pode ser utilizada para avaliar a implantação de uma política pública, bem como, encontrar um nível de risco aceitável, que permite avaliar a efetividade de uma iniciativa em curso. Contudo, nas decisões ambientais estão incluídos muitos intangíveis difíceis de quantificar, como a beleza cênica, a preservação da biodiversidade, entre outros.

Muito se avançou no desenvolvimento de métodos que apresentam uma estimativa do benefício das melhorias da qualidade ambiental. Segundo THOMAS (2012) a maior parte desses métodos visam estimar os benefícios primários, implicitamente supondo que os benefícios secundários são insignificantes. O autor define um benefício ambiental primário como um efeito da redução dos danos, que é a consequência direta da implementação de uma política ambiental, e o benefício ambiental secundário é um ganho indireto da sociedade em decorrência da implementação de uma política. SMITH & KRUTILLA (1982) classificam esses métodos em duas amplas categorias: o conceito de Ligação Física e o conceito de

---

<sup>9</sup> VPL é uma técnica sofisticada de análise de orçamentos de capital, obtida subtraindo-se o investimento inicial de um projeto do valor presente das entradas de caixa, descontados a uma taxa igual ao custo de capital da empresa.

<sup>10</sup> TIR é a taxa de desconto que iguala o valor presente das entradas de caixa ao investimento inicial, referente a um projeto, resultando desse modo, em um VPL = 0.

Ligação Comportamental. Este estima os benefícios através de observações do comportamento em mercados reais ou através de pesquisas sobre mercados hipotéticos e assim pode-se utilizar o Método de Valoração Contigente, o Método de Custos Evitados, o Método de Custo Viagem ou o Método de Preços Hedônicos. Por outro lado, o Conceito de Ligação Física mede os benefícios com base em uma relação técnica entre o recurso ambiental e o usuário do recurso, no qual se pode utilizar o Método Função Dano, que usa uma relação funcional para detectar o vínculo entre uma causa e a consequência. Assim, os benefícios incrementais são mensurados através da redução dos danos, que foi consequência da implementação de uma política ambiental. Então, valora-se a redução dos danos para obter o valor monetário dos benefícios adquiridos através das ações implementadas pela política proposta.

### 3 Metodologia para implantação do PSA

O Pagamento de Serviço Ambiental (PSA) vem sendo utilizado em diversos países e que necessita do envolvimento dos *stakeholders*, assim como um suporte econômico e uma base legal para sua implementação e efetivação. Estudos recentes vêm apresentando resultados favoráveis na recuperação de bacias hidrográficas e respectivos cursos d'água, através de projetos de requalificação fluvial. As experiências adquiridas na revisão da literatura (como contemplado nos capítulos iniciais desta tese) e no campo criaram condições para a formulação de uma proposta diante dos desequilíbrios que vêm ocorrendo nas bacias hidrográficas, como resultado da ocupação desordenada do solo e de obras equivocadas de infraestrutura que afetam o equilíbrio dos rios, gerando degradação, perda de ecossistemas fluviais e inundações.

A proposta apresentada nessa tese é mostrar que o PSA pode ser um instrumento para recuperação ambiental nas bacias hidrográficas ofertando, como produto vendável, a redução das inundações na parte baixa de uma bacia.

Para implantação do projeto de PSA e manutenção de seu funcionamento pós-implantação, elaborou-se um fluxograma das etapas pertinentes e a definição de um conjunto de medidas necessárias para o seu gerenciamento, desde o seu início até a sua fase de operação, (Figura 3.1). Note que, sob o ponto de vista de aproximação metodológica, em um primeiro nível, se discute, de forma geral, o arcabouço de um PSA genérico. Na sequência, esses procedimentos gerais são particularizados para o caso do serviço de mitigação de efeitos de inundação a jusante.



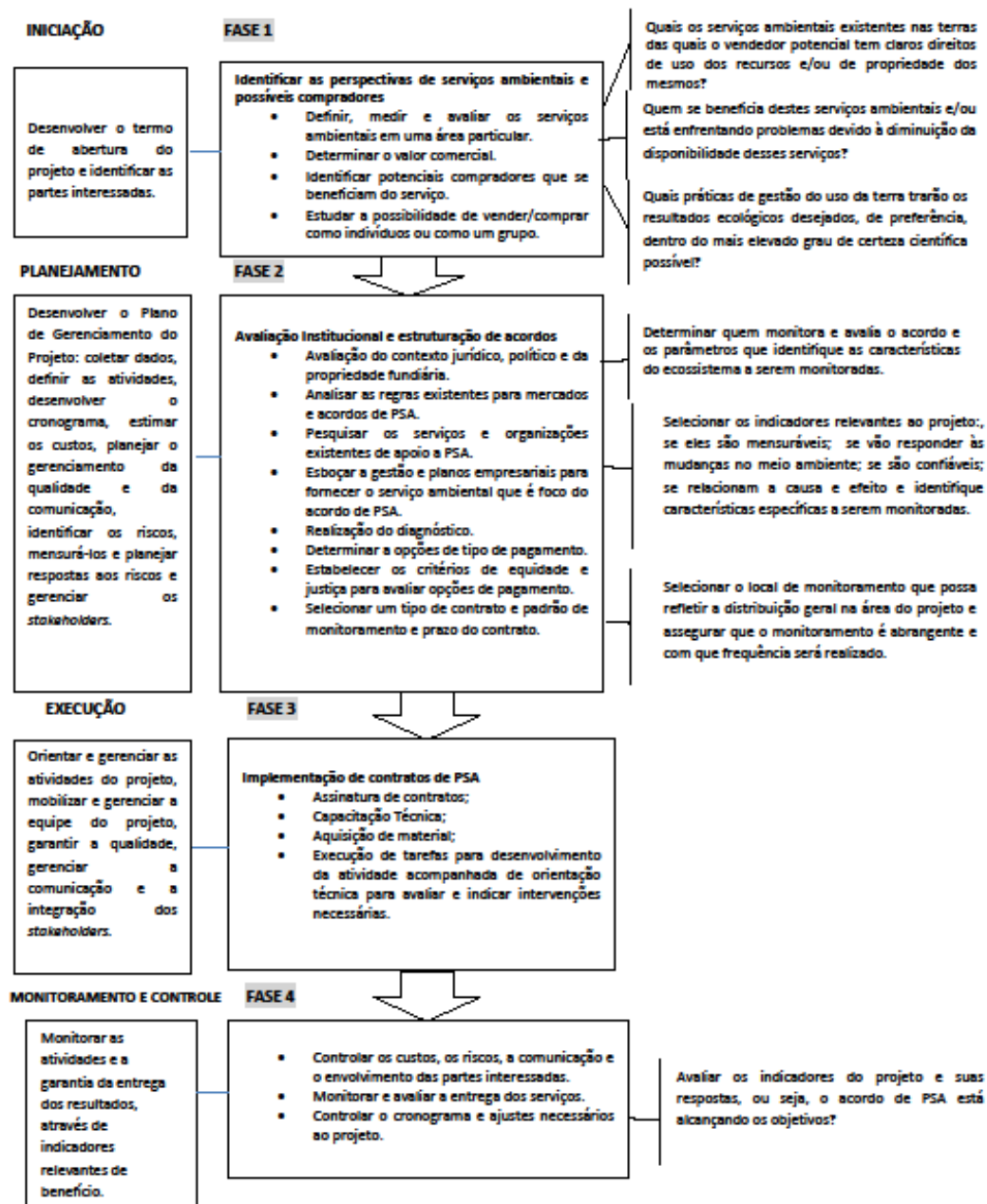


Figura 3.1 – Etapas do projeto de PSA

## FASE 1 – INÍCIO DO PROJETO

Nessa fase, deve-se identificar a necessidade do negócio e suas perspectivas, quem poderia oferecer o serviço, assim como aqueles que seriam beneficiados com a entrega dos resultados. Ressalta-se que os projetos são planejados e implantados em um contexto econômico, social e ambiental e têm impactos negativos e/ou positivos. Deve-se avaliar a possibilidade da venda ou compra dos serviços ambientais por instituições, indivíduos ou por um grupo deles - comunidades. O Poder Público também pode ser inserido como compradores ou cofinanciadores (para viabilização da implementação do serviço) ao atribuir fundos para que se protejam as bacias hidrográficas e se recuperem as áreas degradadas, ou ainda, pode-se ter a figura de países industrializados que pagam a outros países, por atividades florestais que sequestram carbono com a finalidade de cumprirem seus compromissos de redução de emissão, sem, necessariamente, diminuir suas próprias atividades econômicas. Pode-se citar ainda, os moradores de uma bacia que serão beneficiados com boas práticas aplicadas a montante, reduzindo inundações a jusante, ou mesmo o município que terá a garantia de fornecimento de serviços como suprimento de água, ar limpo, controle de inundações, entre outros.

No caso de uma instituição pública, como um município, sugere-se a formação de um Comitê Gestor com representantes da Secretaria Estadual de Meio Ambiente, do Comitê da Bacia, da Prefeitura e representantes da sociedade civil para conduzir a execução do projeto.

Identificados os atores envolvidos, deve-se formalizar o termo de abertura do projeto, que é o documento que o autoriza formalmente. Esse documento concede ao gerente de projetos a autoridade para aplicar os recursos organizacionais nas atividades do projeto. O gerente de projetos deve ser designado antes do início do planejamento e, de preferência, enquanto o termo de abertura do projeto estiver sendo desenvolvido. No desenvolvimento do termo de abertura do projeto deve-se elaborar uma declaração do trabalho na qual se especificam os produtos ou serviços que serão fornecidos pelo projeto. No desenvolvimento do termo de abertura do projeto deve ser claro e formal, o compromisso entre o gerente do projeto e a organização executora.

Nesta fase, é essencial a opinião especializada de consultores, associações profissionais e técnicas, assim como das partes interessadas. O apoio técnico da Prefeitura, Universidades, e a experiência de órgãos como ANA, EMATER, órgãos ambientais estaduais, devem ser utilizados, não só na fase inicial, mas também para

acompanhamento das atividades. Devem ser avaliados os requisitos que satisfazem as necessidades e expectativas dos *stakeholders*, assim como a necessidade ou justificativa do projeto.

Os acordos de PSA podem ser específicos por país, onde os governos podem estabelecer pagamentos diretos a um órgão do governo ou instituição pública, assim como, podem ser realizados por estados ou municípios, desde que sejam estabelecidos através de legislação. Fundações, organizações e entidades, como empresa privada, associações e sociedades, que tenham interesse nas questões ambientais, também podem estabelecer contratos de PSA na forma de acordo auto organizado.

O PSA é um instrumento que oferece um incentivo econômico para proteção dos recursos naturais ou reabilitação de áreas degradadas. A avaliação institucional, a capacidade técnica e a criação ou existência de fundos de apoio a projetos ambientais devem ser avaliadas, assim como, a utilização do ICMS Verde ou a emissão de títulos verdes, no caso do projeto ser implantado por um município. A identificação da atual forma de manejo da bacia, assim como as mudanças na gestão da terra que poderão ser implementadas, são importantes nessa etapa para definição dos potenciais fornecedores dos serviços ambientais. Os proprietários de terras podem participar como fornecedores dos serviços, desde que tenham direitos de uso da terra. Apesar do PSA não ter a finalidade de reduzir a pobreza, ele pode ser usado também para compensar as comunidades de baixa renda pela restauração ou conservação de ecossistemas. O pagamento pode ser em espécie, ou revertido através de prestação de serviços para atender objetivos específicos da comunidade, como a construção de uma escola ou posto de saúde, além dos benefícios indiretos, como minimização dos desastres naturais, regulação de inundações, entre outros, a que essas comunidades possam estar submetidas.

Para determinação do valor comercial dos serviços ambientais, pode-se utilizar diversos métodos. Entretanto, no caso de gestão dos recursos hídricos, muitos fatores interferem na sua dinâmica. Para quantificar os benefícios econômicos do serviço ambiental faz-se necessário avaliar o benefício do serviço que antes não estava disponível, como no caso de bacias degradadas. Recomenda-se aqui o uso de modelagem matemática para elevar o grau de certeza dos benefícios provenientes dos serviços ambientais. Informações sobre projetos anteriores bem sucedidos em outras bacias podem também servir de base para avaliação do valor dos serviços ambientais. Considera-se ainda o custo do proprietário para realizar as atividades que serão descritas

no projeto ou a mudança de práticas para o manejo da terra, ou ainda, o que o proprietário da terra deixará de ganhar ao trocar a sua produção pela prestação de serviços ambientais. Pode-se considerar também o custo relativo das ações alternativas para contenção das cheias, como obras de infraestrutura e sua efetividade no longo prazo.

Antes de passar para a segunda fase de implantação de um PSA, alguns pontos devem estar definidos no escopo preliminar do projeto:

- Definir o objetivo do projeto e os critérios de aceitação para entrega dos serviços;
- Avaliar as restrições quanto à legislação, ao nível organizacional e ambiental;
- Estipular, inicialmente, uma estrutura analítica do projeto, ou seja, uma subdivisão de tarefas ou pacotes de trabalho que facilitarão o seu gerenciamento;
- Estabelecer um organograma de implantação e um prazo para início regular de operação;
- Realizar uma estimativa aproximada de custos;
- Fazer uma avaliação inicial dos riscos;
- Elaborar um cronograma prévio;
- Determinar indicadores biofísicos que indiquem a recuperação de indicador de benefícios relevantes.

## FASE 2 – PLANEJAMENTO

Baseado no escopo do projeto delineado na fase anterior dá-se prosseguimento a uma elaboração progressiva do projeto que se tornará mais explícito e detalhado na segunda fase. Assim, elabora-se um plano de gerenciamento na medida em que a equipe do projeto desenvolve um entendimento mais completo dos objetivos e do produto final. O planejamento cria um caminho viável para atingir os objetivos de um projeto.

Para alcançar o objetivo proposto, como no caso de controle de enchentes, ações como mudança no manejo da terra através da melhora das práticas agrícolas, mudança de atividades na faixa ribeirinha, controle de erosão, recuperação de vegetação

nativa, tanto na proteção de nascentes como na recuperação da mata ciliar, são algumas das ações que podem contribuir para o sucesso do projeto de prestação do serviço ambiental.

O diagnóstico da área e a coleta de dados é etapa fundamental para definir as atividades do plano. Nessa etapa, deve-se considerar o histórico da região e as ações antrópicas que ocorreram ao longo do tempo. Através desse levantamento, é possível identificar claramente quais são as demandas ambientais, quais os problemas afligem a sociedade, que serviços podem ser prestados, aqueles que podem oferecer o serviço ambiental e aqueles que serão beneficiados com o resultado positivo do projeto.

Na discussão sobre bacias hidrográficas, os potenciais vendedores tendem a ser os proprietários, ou usuários, muitas vezes das terras a montante, e a população ribeirinha. Sendo assim, é importante que, após a definição da área do projeto, seja realizada uma avaliação do direito de uso e propriedade da terra dos potenciais prestadores do serviço ambiental para evitar conflitos futuros.

Nessa etapa, já definido quem compra e quem vende, se define as atividades e as aquisições necessárias para realizar as atividades. Deve-se estabelecer em contrato a competência do comprador para o fornecimento de material, para a capacitação técnica, o fornecimento de mão de obra, entre outros. Estabelecer se a competência é do comprador ou do vendedor.

Da mesma forma, a comunicação com os *stakeholders* deve ocorrer desde a fase inicial e manter-se durante todo o projeto, até a entrega do produto implantado e operando. As reuniões devem ser planejadas, assim como, outras formas de comunicação disponíveis, como distribuição de panfletos e propagandas em rádio e TV.

A duração da implantação do projeto tem que ser determinada – início e fim. Essa etapa garante que o PSA será efetivado e operará. Por se tratar de um projeto ambiental é necessário um longo prazo para que os resultados sejam entregues. No caso de reflorestamento, ou mesmo da revegetação natural, esse prazo tende a ser no mínimo quatro anos, como mostram experiências anteriores em projetos bem sucedidos. Quando se considera o controle de inundações, os horizontes de avaliação de resultados devem ser ainda maiores, dados os tempos de repetição dos eventos de inundação. Desenvolve-se, então, o cronograma e estima-se o custo do projeto e o custo de operação e manutenção.

A forma para o pagamento aos fornecedores dos serviços ambientais também deve ser definida. Se em espécie, deve-se definir como esse pagamento será

realizado, se através de cotas mensais ou através de pacotes de entrega, se realizado através de depósito bancário ou estabelecimento de um meio de pagamento para atender a população de baixa renda. Todas as entregas e pagamentos deverão ser detalhados no contrato, e discutidos e esclarecidos em reuniões com os *stakeholders*, de forma que não gere dúvidas futuras, e a participação no projeto seja interessante tanto para o comprador quanto para o vendedor, e assim, incentivar que o serviço a ser pago seja de fato entregue. A premissa básica para que o PSA funcione é que ele tem que ser interessante para todas as partes – não se pode “decretar” a implantação de um PSA. Ele precisa ser abraçado pelas partes.

Destaca-se aqui a importância da comunicação desde os primeiros momentos. Parte-se do princípio de que a adesão ao PSA deve-se dar de forma voluntária e o envolvimento dos *stakeholders* precisa ser bem trabalhado de forma clara e objetiva. A compreensão inadequada pode representar riscos para os acordos de PSA, como por exemplo, perda do direito de uso de produtos ou serviços ambientais, perda do custo de oportunidade ou até mesmo, a redução de determinadas atividades ou inserção de novas técnicas conduzirem a uma redução de postos de trabalho.

É fundamental que os contratos sejam justos e eficazes, de forma que assegure ao vendedor que o acordo atenda aos seus interesses e compense a possível perda de oportunidade das atividades antes realizadas, e seja justo com o comprador, que precisa estar seguro de que o serviço lhe trará benefícios e que deverá ser entregue de acordo com as cláusulas contratuais. Punições devem ser estabelecidas pelo não atendimento às cláusulas contratuais, tanto por parte do comprador quanto do vendedor.

Os possíveis riscos também deverão ser identificados e respectivas respostas devem ser planejadas, para que ocorra uma resposta imediata durante a execução do projeto. Fatores que estão fora do controle dos vendedores do serviço ambiental podem impedir a entrega do resultado, e assim, resultar na suspensão do pagamento. Pode-se citar no caso da recuperação florestal, um incêndio, ou a infestação de pragas ou insetos. Recomenda-se que seja incluída no acordo, uma cláusula que estipule a divisão do risco entre compradores e vendedores, de forma que os prejuízos sejam assumidos por ambas as partes. Entretanto, respostas aos riscos devem ser planejadas para minimizar os danos. O objetivo do gerenciamento de riscos é diminuir a probabilidade e o impacto dos eventos adversos ao projeto. No caso de controle de inundações, a não ocorrência de chuvas importantes em um dado período de tempo, se não claramente reconhecido o caráter aleatório destes eventos, pode enfraquecer a vontade do comprador em continuar

pagando pelo serviço. Todos os possíveis obstáculos e entraves devem ser tratados com clareza. Além disso, é importante introduzir o conceito de avaliação de uma integral de resultados ao longo do tempo.

Durante a fase de planejamento devem ser estabelecidas todas as responsabilidades legais e técnicas. O suporte técnico necessário para a execução das atividades deverá ser fornecido pelo comprador, transferindo os conhecimentos necessários para o prestador do serviço. Se o município desempenhar o papel de comprador, ele poderá utilizar seus próprios técnicos, assim como, contar com apoio de instituições como ANA, EMATER ou órgãos estaduais da área ambiental, possuidores de *knowhow* para garantir o sucesso dessa etapa.

A forma e a frequência do monitoramento também precisam ser estabelecidas. O plano de monitoramento vai estabelecer as regras para avaliar se os objetivos estão sendo alcançados (tanto os de implantação, como os de operação do PSA) e permitir a revisão do plano de gestão. O comprador deve designar o seu representante para avaliar as atividades, que poderá ser uma entidade externa, uma agência governamental ou um profissional capacitado para avaliar as entregas como estabelecidas no plano. O próprio Comitê Gestor pode assumir esse papel, se este tiver sido formado. Porém, em qualquer dos casos, os indicadores para avaliação devem ser claros e relevantes para o projeto, identificando o que está sendo realizado e como a gestão pode ser melhorada.

Sendo assim, o plano deve apresentar os seguintes itens:

- Objetivo do projeto;
- Descrição do produto, quem compra e quem vende;
- Requisitos do projeto (normas, especificações);
- Limites do projeto (área e *stakeholders*);
- Entregas do projeto (não só o produto, como também, relatórios, documentação, *etc*);
- Critérios de aceitação do produto;
- Restrições do projeto (orçamento predefinido, limites de data, atendimento às cláusulas contratuais, *etc.*);
- Premissas do projeto;
- Organização inicial do projeto (membros da equipe e partes interessadas);



- Riscos iniciais definidos;
- Marcos do cronograma;
- Limitação de fundos;
- Estimativa de custos;
- Estimativa de pagamentos;
- Requisitos do gerenciamento de configuração do projeto (controle de mudanças que será implementado no projeto);
- Especificações do projeto (às quais o projeto deve estar de acordo);
- Requisitos de aprovação.

### FASE 3 – EXECUÇÃO

A fase de execução é aquela em que se deve colocar em prática tudo o que foi planejado na fase anterior e que consta no plano do projeto. Ele é uma referência consistente do que fazer e como fazer. É importante, porém, destacar que há uma fase de implantação, em que o serviço será viabilizado, e uma fase de operação, em que o serviço será efetivamente entregue. Na etapa de execução, as reuniões com os *stakeholders* devem ser intensificadas com a finalidade de esclarecer as dúvidas quanto ao objetivo e envolvimento das partes no projeto. Os contratos devem ser assinados entre o comprador e vendedor com cláusulas especificadas de forma clara e objetiva. As atividades a serem realizadas devem atender ao cronograma previsto, incluindo as aquisições e disponibilidade de material e equipamentos necessários.

A equipe técnica, já formada na etapa do planejamento, deve orientar as atividades, assim como capacitar os vendedores dos serviços nas intervenções necessárias. A equipe do projeto deve garantir a qualidade das atividades, assim como, gerenciar a comunicação e a integração dos *stakeholders*.

### FASE 4 – MONITORAMENTO E CONTROLE

Destaca-se que nessa fase, várias atividades devem ser desenvolvidas ao mesmo tempo, como acompanhar os riscos, controlar a qualidade do serviço, atender o cronograma e monitorar as atividades para liberação dos pagamentos acordados. Mudanças podem ser necessárias e devem ser avaliadas e justificáveis. O controle de



mudanças é necessário porque nem sempre a execução do projeto ocorre como planejado inicialmente. A fase do monitoramento não deve ser considerada posterior a fase de execução, mas devem caminhar juntas, para garantia da qualidade na implantação do serviço e posterior entrega do produto no tempo estipulado.

Assim sendo, pode-se resumidamente listar os passos propostos pela tese para viabilizar a implantação de um projeto de PSA para contenção de enchentes em bacias hidrográficas.

- Investigação do cenário passado da bacia hidrográfica e diagnóstico do cenário atual e ações antrópicas que ocorreram ao longo do tempo.
- Mapeamento das áreas afetadas por inundações com utilização de modelo matemático.
- Levantamento dos prejuízos causados por um evento real, mapeado pela Defesa Civil. Nesse caso, os dados obtidos a partir do AVADAN se referem a “verdade” relativa ao evento considerado.
- Associação do evento real mapeado pela Defesa Civil a um tempo de recorrência.
- Modelagem hidrodinâmica da bacia, através do modelo MODCEL, para o tempo de recorrência do evento real, para posterior cálculo do prejuízo associado a este evento modelado;
- Aplicação da metodologia de NAGEM (2008) para cálculo do prejuízo associado à mancha de alagamento modelada pelo MODCEL.
- Ajuste da curva de prejuízo proposta até reproduzir os dados do AVADAN e validar o modelo para o evento real mapeado pela Defesa Civil.
- Proposta de Implantação de PSA.
- Cálculo dos custos de implantação e manutenção do serviço ambiental, incluindo revegetação, reserva de área para inundação e imobilização da terra para outros usos.
- Integral dos custos ao longo do tempo adotado como horizonte de projeto.
- Avaliação dos prejuízos evitados ao longo do horizonte de projeto, que podem ser revertidos (em parte) em pagamento pelo serviço ofertado.

- Avaliação de outras ofertas de pagamento (ICMS Verde e outros incentivos).
- Avaliação de benefícios adicionais do serviço ambiental, como, por exemplo, valorização imobiliária (e consequente aumento do IPTU).
- Avaliação de obras evitadas, como obras de infraestrutura para solução imediata dos problemas de inundação sem preocupação com a qualidade ambiental da bacia.
- Balanço de custos e benefícios.
- Ajustar a proposta de PSA para a realidade da bacia a fim de viabilizar a sua implantação.

## FORMULAÇÃO DO PSA

Considerando a discussão apresentada, através do passo a passo de aplicação da metodologia proposta, pode-se sintetizar o valor máximo aceitável para o pagamento do serviço ambiental prestado através da equação 3.1.

(3.1)

$$PSA = \sum_{Tempo} \sum_{Espaço} PE - \left[ CI + \sum_{Tempo} (M + Ad + VI) \right]$$

Onde:

PSA – resultado aceitável para implantação do projeto de PSA

Tempo – horizonte de projeto

Espaço – área afetada pelas cheias e que será receptora dos serviços ambientais

PE – prejuízos evitados, pela redução das inundações, como resultado do serviço ambiental de controle de cheias, integrado no espaço da bacia urbanizada e no horizonte de projeto.

CI – custo de implantação do projeto de PSA

M – custo de manutenção da área prestadora do serviço ambiental

Ad – custo de administração (e monitoramento) do Projeto de PSA

VI – valor da terra imobilizado, que não poderá ser usada produtivamente com outra atividade econômica, uma vez que estará alocada para prestar o serviço ambiental oferecido.

Com esta formulação, procura-se avaliar a viabilidade do projeto de PSA, fechando a aplicação da metodologia de forma prática. Assim, o prejuízo evitado no espaço da bacia ao longo do tempo, no horizonte definido pelo projeto, deve ser tal que, ao se comparar este benefício com os custos envolvidos, o balanço seja positivo. Ou seja, os prejuízos evitados devem financiar a o serviço ambiental provido, superando o custo de implantação do projeto, o somatório dos custos de manutenção, administração e monitoramento integrados no tempo do projeto, e o custo de oportunidade pela terra alocada para preservação da vegetação (e indisponibilizada para outros usos).

## FERRAMENTAS DE APOIO

O fenômeno das enchentes tem sido tratado com mais rigor nas últimas décadas a partir da possibilidade de utilização de modelos matemáticos e numéricos, para simulações hipotéticas que tentam representar a realidade e seu comportamento, diante das diferentes características sob as quais o fenômeno se apresenta, considerando o conceito de bacia hidrográfica. A modelagem matemática estuda a simulação de um sistema real com a finalidade de prever o seu comportamento futuro descrevendo-o matematicamente. É de fundamental importância, diante da diversidade das características da bacia, a escolha do modelo para o processo de modelação e condução para os melhores resultados. Assim, segundo OLIVEIRA (2011) para o processo de modelação é fundamental a identificação e caracterização do evento com diagnóstico de suas principais causas, caracterização dos processos intervenientes e a identificação das possíveis hipóteses simplificadoras.

Com o advento da computação digital, a modelação hidrodinâmica passou a ser aplicada de forma generalizada. Na década de 60 foi construído o primeiro modelo matemático bidimensional relevante para o delta do Rio Mekong apresentado por ZANOBETTI & LORGERÉ (1968).

O conceito de modelação por células foi aplicado no Brasil, no Pantanal do Mato Grosso em uma grande planície rural alagável que foi utilizado por MIGUEZ (1994). Em 1999, MIGUEZ & MASCARENHAS resgataram esse estudo e adaptaram os conceitos envolvidos na modelação por células para aplicação em uma bacia urbana, dando origem ao Modelo de Células de Escoamento (MODCEL).

Na tese que aqui se apresenta, através da aplicação da modelagem matemática foi possível simular cenários para diferentes tempos de recorrência ( $T_r$ ) na área de estudo e assim, avaliar os prejuízos causados pelos diferentes eventos. A aplicação do MODCEL permitiu a simulação de diferentes cenários de comportamento desses eventos, bem como a simulação do comportamento desses eventos após a recuperação vegetal da parte alta da bacia.

## MODCEL

O MODCEL (MASCARENHAS e MIGUEZ, 2002; MIGUEZ, 2001; MIGUEZ *et. al.*, 2011) é um modelo de células de escoamento capaz de simular diferentes cenários hidrológicos e hidráulicos. Parte do princípio de que uma bacia pode ser subdividida em um conjunto de compartimentos homogêneos, que, em grupo ou isoladamente, representam paisagens, num arranjo tal que reproduz os padrões de escoamento, dentro ou fora da rede de drenagem, a partir das interações entre as células modeladas.

A bacia é subdividida em diferentes células com ligações entre si e o escoamento entre as células é calculado por equações hidráulicas unidimensionais definidas de acordo com o padrão topográfico e de urbanização da região, através de relações hidráulicas, como, por exemplo, a equação dinâmica de *Saint-Venant*. Pode ser considerado um modelo quasi-2D, uma vez que a região subdividida em células forma uma rede de escoamento bidimensional, com possibilidade de escoamento em várias direções nas zonas de inundação, a partir de relações unidimensionais de troca. Os resultados calculados pelo modelo permitem delimitar as manchas de inundação resultantes da resposta do sistema de macrodrenagem a um evento hidrológico.

Cada célula comunica-se hidraulicamente com células vizinhas, recebe a contribuição de precipitações e realiza processos hidrológicos internos para transformação de chuva em vazão. Às vazões trocadas com as células vizinhas somam-se a vazão resultante da transformação da chuva.

De acordo com MIGUEZ (2001) as hipóteses de aplicação do modelo de células em bacias são:

1. A bacia pode ser representada por compartimentos homogêneos, interligados, chamados células de escoamento.

2. Cada célula comunica-se com células vizinhas, que são arranjadas em um esquema topológico, constituído por grupos; uma célula de um dado grupo só pode se comunicar com células deste mesmo grupo, ou dos grupos imediatamente superior ou inferior.
3. As características de cada célula são associadas a um ponto de referência nesta célula, chamado de centro da célula, por onde se considera passar o escoamento. Este centro não necessariamente se refere ao centro geométrico. A ligação de todos os centros determina o padrão geral de escoamento.
4. O escoamento entre células pode ser calculado através de leis hidráulicas conhecidas como, por exemplo, a Equação Dinâmica de *Saint-Venant*, entre outras.
5. Na célula, o perfil da superfície livre é considerado horizontal e a área desta superfície depende da elevação do nível d'água no interior da mesma.
6. As seções transversais de escoamento são tomadas como seções retangulares equivalentes, simples ou compostas.
7. O volume de água contido em cada célula está diretamente relacionado com o nível d'água no centro da mesma.
8. A vazão entre duas células adjacentes, em qualquer tempo, é apenas função dos níveis d'água no centro dessas células.

O processo de modelagem por células de escoamento inicia-se pela análise da região através de levantamentos e plantas topográficos, aerofotogrametrias, imagens de satélite e visitas de campo, entre outras fontes de informações disponíveis. A partir destas informações, faz-se a divisão da bacia em células, de acordo com o uso do solo e com a topografia da área. Após essa divisão, é necessário construir um esquema topológico que integra a rede de células, mostrando as suas interações com as células vizinhas e com as condições de contorno, localizadas nas fronteiras da área modelada. O esquema topológico apresenta a articulação das células e as possíveis interações entre elas, podendo cada célula possuir ligações com outras células de seu próprio grupo, de um grupo anterior ou posterior.

Após a divisão em células e em grupos devem ser confeccionados os arquivos de entrada necessários à modelagem. Estes arquivos compreendem os dados e parâmetros de cada célula da divisão, as suas ligações e as condições de contorno necessárias para a modelagem, bem como a chuva de projeto ou um evento medido. Para a aplicação do modelo de células, algumas informações básicas são necessárias: dados topográficos, hidrológicos e de uso e ocupação do solo.

## 4. Estudo de caso - Rio Sesmaria

### 4.1 Bacia do Rio Sesmaria

#### 4.1.1 Histórico

PANIZZUTTI (2010) afirma que os primeiros colonizadores chegaram na região no fim da primeira metade do século XVIII e encontraram os índios Puris. Eram índios nômades que faziam seus ranchos cobertos de palmas e palha sobre armação de varas e os abandonavam logo que acabavam com a caça e os frutos da mata. No inverno subiam a serra para apanhar pinhões no vale do Rio Preto. O primeiro nome que deram a terra foi o de Nossa Senhora da Conceição de Campo Alegre da Paraíba Nova. Desde então, a região começou a ser frequentada por levas de faiscadores que levantaram primeiramente ranchos de tropa e, posteriormente, residências e fazendas. Fatores como a localização entre Rio de Janeiro e São Paulo, e a proximidade com a capitania de Minas Gerais, permitiu um rápido crescimento, inclusive com instalação de fábricas de anil, usinas de açúcar e plantações variadas.

Segundo NOVAES (2008), os primeiros caminhos no Vale do Paraíba surgiram no século XVII. A Coroa Portuguesa buscava ouro e pedras preciosas em pontos distantes do litoral, utilizando as trilhas abertas pelos índios. Com o declínio do ciclo do ouro a partir de 1750, os velhos caminhos de terra, conhecido como Caminho Velho, sinuosos e estreitos, foram alargados e calçados com pedras para facilitar a passagem das tropas que transportavam o café, a maior riqueza do século XIX. O mesmo autor relata que em 1698, a Coroa Portuguesa decidiu abrir um novo caminho, *Caminho Novo*, que interligasse o Rio de Janeiro às Minas Gerais. As razões que levaram a essa decisão foram o longo percurso do *Caminho Velho* e a localização dos portos de Angra dos Reis e Paraty. Esses portos é que recebiam quase toda a produção do Sul e Sudoeste Fluminense, do chamado Norte Paulista, da zona meridional de Minas Gerais e ainda de Goiás. Em 1770, trouxeram-se as primeiras mudas de café, que teve seu plantio incentivado no local. Em vista de seu progresso, o Governo resolveu promover a instalação da vila, o que se verificou em 29 de setembro de 1801,

recebendo, então, a denominação de Resende, em homenagem ao quinto Vice-rei, Conde de Resende, naquela época Governador do Brasil.

O município cresceu em torno da cultura do café. O ciclo do café teve ali o seu início e se tornaria a base da economia do município. Ainda segundo PANIZZUTTI (2010), tudo o que se plantava crescia e o desenvolvimento econômico se deu com arroz, feijão, mandioca e, mais tarde, anil e café. As mudas de cana crioula vieram da Ilha da Madeira. Já a cana caiana proveio de Caiena, capital da Guiana Francesa por volta de 1800. Fontes históricas afirmam que, em 1810, toda a área de Resende se encontrava coberta por cafezais, tornando-se o maior centro produtor do Vale do Paraíba e polo irradiador, de onde as plantações se expandiram para São Paulo e Minas Gerais, e posteriormente, para o Paraná e o Espírito Santo. Entretanto, o território de Resende, no passado, era muito mais extenso, ocupando todo o Vale do Paraíba Fluminense. Nesse período o Rio Paraíba do Sul foi utilizado para escoar a produção de café, conforme relata o autor, que *“um espanhol teimoso chamado João Vasquez construiu uma embarcação de fundo chato e começou a buscar as mercadorias em Resende. Em pouco tempo, cerca de sessenta embarcações com ajuda de remo, varejão, mastros e velas de algodão, transportavam de uma até quinze toneladas rio abaixo”*.

Em 1848, o município elevou seu *status* de vila à cidade. Por volta de 1850, houve a crise do café, o que fez com que, ao longo do tempo, as fazendas diversificassem a sua produção. O período de declínio da era do café começou em 1850, através de uma praga que atacou os cafezais e provocou uma queda na produção durante sete anos. Os solos tornaram-se ácidos e pobres devido à erosão e à falta de adubação. A partir de 1870, a atividade de plantio do café transferiu a riqueza para o oeste paulista, atraída pela produtividade das terras roxas, e, com o fim da escravidão, a atividade tornou-se inviável.

Até 1864, a antiga povoação de Santos Reis Magos, atual cidade de Angra dos Reis, foi o porto mais movimentado do Sul do Brasil, depois do porto do Rio de Janeiro. Nesses portos que se iniciavam as novas estradas e por elas escoavam toda a produção de café de Resende, Barra Mansa, São João Marcos, Bananal e São José do Barreiro, até a construção dos trilhos da Estrada de Ferro D. Pedro II. Apesar do declínio da produção do café, a cidade de Resende continuava a progredir. Foi instalada a Ponte do Surubi, fabricada na Europa e montada em Resende, nominada assim por ter sido ponto de pesca desse peixe, que não é mais encontrado no local. Em 1872, passou pela ponte do Surubi o primeiro trem de carreira, puxado pela locomotiva Petrópolis.

Meses depois, os trilhos alcançaram Engenheiro Passos e em 1875, passavam por eles, mais de quatro mil toneladas de café produzidos na região, incluindo São José do Barreiro, Areias e Bananal.

Em 1943, instalou-se no município a Academia Militar das Agulhas Negras, instituição militar para formação de oficiais do Exército Brasileiro. Desde o início do século XX, importantes empresas dos setores nuclear, gráfico, metal mecânico, pneumático e químico têm se instalado na região. São empreendimentos que causam grandes impactos nos aspectos social, ambiental e econômico. Pode-se citar, como exemplo, a instalação da Companhia Siderúrgica Nacional, fortemente impactante no crescimento urbano e na demanda de água, assim como empreendimentos recentes, como a Siderúrgica Votorantin e a fábrica de automóveis da Nissan.

#### **4.1.2 Descrição**

A bacia do Rio Sesmária localiza-se na região do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, no limite dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Segundo OLIVEIRA *et al.* (2012), o Rio Paraíba do Sul é um dos mais importantes rios federais do Brasil. A Constituição Federal do Brasil (BRASIL, 1988) no seu artigo 20, III, define que são bens da União, “*os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e praias fluviais.*” Da sua nascente, no estado de São Paulo, o Rio Paraíba do Sul percorre 1.120 km até a sua foz no Oceano Atlântico. Sua bacia abrange parte dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, com uma área de drenagem de cerca de 55.500 km<sup>2</sup>.

Em 1952, com a inauguração da Barragem de Santa Cecília, possibilitou-se a derivação de até 160m<sup>3</sup>/s, cerca de 2/3 da sua vazão média, para o Complexo de Lajes, e desse para a bacia hidrográfica do rio Guandu, na qual se localiza a Estação de Tratamento de Águas Guandu, que trata cerca de 45m<sup>3</sup>/s de água e propicia o abastecimento de mais de 8,5 milhões de pessoas da região metropolitana do Rio de Janeiro. Importante contribuinte desse rio, no trecho fluminense pela sua margem direita, é o Rio Sesmária, que tem sua foz no Paraíba do Sul, dentro da área urbana do município de Resende (Figura 4.1).





Figura 4.1 - Urbanização nas margens do Rio Sesmaria  
Fonte: GOOGLE MAPS (2017)

A bacia hidrográfica do Rio Sesmaria está localizada entre os municípios de Arapeí e São José do Barreiro, no estado de São Paulo, e o município de Resende, no Rio de Janeiro. A sua área de drenagem é de 149 km<sup>2</sup>, tendo suas nascentes mais altas situadas próximas ao Parque Nacional da Serra da Bocaina, na Serra do Mar. O Rio Sesmaria tem a sua origem nessas nascentes, mas só recebe a denominação de Sesmaria após a confluência dos rios Feio e Formoso. A extensão total do maior eixo de drenagem da bacia é de aproximadamente 39 km e é formada pelos Rios Formoso e Sesmaria (Figura 4.2). O trecho do rio com a denominação de Sesmaria tem aproximadamente 21 km, sendo pouco mais de 16 km em região predominantemente rural, e aproximadamente, 5 km atravessando a região urbanizada de Resende. O principal afluente é o rio São João, que está localizado na margem direita do Rio Sesmaria a 2,7 km à jusante da confluência dos rios Feio e Formoso.



Figura 4.2 – Bacia do Rio Sesmaria  
Fonte:CEIVAP

Segundo SILVA *et.al.* (2006, *apud* JACOB, 2013), a morfologia do relevo da região é resultado de intensas variações dos níveis de base e das condições paleohidrológicas, geradoras de repetidas fases de entalhamento fluvial e acentuado retrabalho da paisagem durante o Neógeno. Os rios e seus níveis de base locais estão relacionados com os processos que se desenvolvem nas encostas, da mesma maneira que as encostas, sendo fonte de água e sedimentos para os rios, estão diretamente

ligadas à dinâmica fluvial. A morfologia desse relevo, montanhoso nas cabeceiras e colinoso na maior parte de sua área rural, desenhou o curso do Rio Sesmária com trechos com corredeiras, quedas, vales encaixados e pequenas planícies de inundação.

Na área urbana do Município de Resende, a característica principal do trecho do Rio Sesmária é a ocupação das faixas marginais de domínio da União, das Áreas de Preservação Permanente (APP) e das Faixas Marginais de Proteção (FMP). Essas ocupações, em alguns pontos, atingem a própria calha do rio e modificam o desenho das seções da sua foz no Rio Paraíba do Sul.

Os solos predominantes na região se enquadram como latossolos, sendo espessos, muito lixiviados e pobres em nutrientes, principalmente após o desmatamento da floresta Atlântica pela atividade cafeeira, no século XIX, culminando em erosão (DANTAS, 1995; SATO *et al.*, 2009). Segundo COELHO NETTO (1999), do ponto de vista geomorfológico, atualmente, a paisagem se apresenta heterogênea e instável, submetida a mudanças ambientais cada vez mais rápidas, e sob altas taxas de erosão e deposição nas encostas e fundos de vales fluviais, enquanto nos domínios montanhosos prevalecem os deslizamentos, nos domínios de colinas, sob espessa sedimentação quaternária, prevalecem os mecanismos de erosão linear. A progressão na incisão e/ou recuo desses canais erosivos tende a favorecer a ocorrência de deslizamentos, particularmente junto às encostas mais íngremes, e sua intensificação nas cabeceiras de drenagem vem acarretando um aumento das taxas de assoreamento nos canais fluviais coletores e aumento das enchentes nas planícies de inundação. A região é caracterizada por um domínio montanhoso, com predomínio de erosão por mecanismos gravitacionais, e um domínio colinoso, com ocorrência de espessos pacotes sedimentares da transição do Pleistoceno-Holoceno e processos de voçorocamento retrabalhando estes sedimentos. A formação destas voçorocas está intimamente relacionada com o controle lito-estrutural das fraturas sub-verticais, que permitem a exfiltração da água subterrânea, assim como a orientação dos principais canais seguindo a formação geológica da região.

A região, originalmente coberta pela Mata Atlântica, é influenciada pela atuação da Massa Tropical Atlântica e pela Massa Polar. Segundo ROCHA LEÃO (2005), o choque entre essas duas massas é responsável pelas frentes frias que tendem a se concentrar nos meses de verão e são responsáveis também pelas variações na pluviosidade média anual. O clima da bacia é considerado subtropical com inverno seco e verão quente e temperatura média anual de 20°C, variando de 16° em julho a 23° em

fevereiro. As chuvas são distribuídas em duas estações sendo uma seca (abril a setembro) e outra chuvosa (outubro a março). A precipitação média anual é de 1700 mm e as chuvas são concentradas entre os meses de outubro e março. SILVA *et al.* (2013) no trabalho “Caracterização Pluviométrica do litoral Sul Fluminense e Norte Paulista (Brasil)” relatam que os estudos sobre as características das chuvas têm auxiliado nos últimos 50 anos o entendimento de diversos eventos geomorfológicos, dentre eles os relacionados à erosão dos solos e aos deslizamentos de terra.

Atualmente, é visível o nível de desequilíbrio com que se encontra o Rio Sesmaria. VIEIRA DA SILVA & WILSON JR. (2005) definem um rio como um sistema dinâmico formado pela combinação de duas fases: uma fase líquida, representada por um escoamento básico com superfície livre, turbulento, regido pelas leis da Hidráulica e Mecânica dos Fluidos, e cujo comportamento determina a forma e a geometria da calha fluvial; uma fase sólida, representada por um fluxo de partículas sólidas de várias dimensões e diferentes propriedades físico químicas e mecânicas, denominadas genericamente de sedimentos, cujo comportamento pode, por sua vez, modificar as propriedades da corrente líquida. Estabelece-se assim, um processo de retroalimentação, em que o escoamento modifica a geometria da calha fluvial e a nova configuração desta calha provoca uma mudança em algumas características do escoamento. Deste processo, resulta toda a complexidade dos escoamentos com fundo móvel e cujo conhecimento é um dos objetivos básicos da Hidráulica Fluvial. Em condições de equilíbrio natural, o funcionamento deste sistema dinâmico é responsável pela geometria e morfologia dos rios, determinando sua profundidade, largura, declividade, sinuosidade do curso d'água e tipos de configurações do leito. Estas propriedades apresentam flutuações contínuas no tempo, cujos valores médios em um período suficientemente longo, são aproximadamente constantes ou variam numa escala muito pequena. Neste caso, diz-se que o rio encontra-se “em regime”. No entanto, é possível observar no Rio Sesmaria a ocorrência de grandes erosões, assim como, intervenções antrópicas como as obras de engenharia que conduzem o rio na busca de uma nova situação de equilíbrio.



## 4.2 Histórico das enchentes no município de Resende

Os rios geralmente possuem dois leitos: o leito menor, onde a água escoar na maioria do tempo, e é limitado pelas cheias de frequência de 1,5 a 2 anos, e o leito maior, que, através de suas cotas, identificam a magnitude da inundação e sua frequência de ocorrência. As inundações ocorrem quando o escoamento atinge níveis superiores ao leito menor, atingindo o leito maior. A inundação do leito maior dos rios é um processo natural, como decorrência do ciclo hidrológico das águas. Os impactos da inundação ocorrem quando a população ocupa o leito maior, que são áreas de risco onde os impactos são frequentes.

O escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas devido a dois processos que ocorrem isoladamente ou combinados:

- Inundações de áreas ribeirinhas: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios devido à variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica.
- Inundações devido à urbanização: são as inundações que ocorrem na drenagem urbana devido ao efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstrução ao escoamento.

O Município de Resende, durante muitas décadas, esteve submetido a grandes inundações em sua área urbana, causadas pelo Rio Paraíba do Sul, desconhecendo-se relatos históricos de inundações causadas pelo Rio Sesmaria. As inundações do Rio Paraíba do Sul, que foram controladas após a construção da Barragem da Hidrelétrica de Funil, que entrou em operação em 1969.

Entretanto, o Rio Sesmaria cortava uma área urbana pequena e dispunha de espaços livres entre as construções e seu leito menor. O crescimento populacional, na ordem de 35% na cidade de Resende, entre os anos de 1990 e 2010 (IBGE, 2010), incrementou a ocupação de áreas às margens do Rio Sesmaria.

Na última década, foram frequentes as ocorrências de enchentes provocadas pelo Rio Sesmaria. Em 2009, houve uma ocorrência que atingiu algumas casas, mas não provocou grandes estragos na cidade de Resende. No ano de 2010, a população sofreu com duas grandes enchentes consecutivas, uma em março e outra em dezembro. As duas cheias de 2010 alagaram muitos bairros da cidade e provocaram estragos em

pontes e muros que estavam confinando o rio. Moradores afirmam que a enchente de dezembro de 2010 foi pior do que a que ocorreu em março do mesmo ano. A cheia do dia 16 março de 2010, atingiu mais de 100 casas, 07 bairros e uma ponte foi comprometida. No evento dos dias 14 e 15 de dezembro do mesmo ano, 09 bairros foram atingidos pela cheia. Em abril de 2012, o rio Sesmaria atingiu um metro acima do nível normal na cidade de Resende, causando grande preocupação à população.

Os eventos alertaram a população e as autoridades para os impactos que vêm ocorrendo na bacia do Rio Sesmaria. A degradação causada pelas modificações no uso e cobertura do solo, pela expansão imobiliária na área urbana, pelo aumento da impermeabilização do solo e, conseqüentemente, aumento do escoamento superficial, e o confinamento da calha do rio pelas construções têm contribuído para a intensificação dos danos causados à população com os eventos de inundação.

Para entender o comportamento do Rio Sesmaria, a autora desta tese realizou visitas de campo e coleta de informações com os atores envolvidos, para identificar os danos causados ao meio ambiente e os riscos para a população. As visitas foram realizadas entre os meses de agosto e outubro de 2013 e iniciaram-se com a observação das intervenções executadas no Rio Paraíba do Sul e na foz do Rio Sesmaria. Identificaram-se trechos ao longo do Rio Sesmaria nos quais as intervenções foram realizadas para contenções das margens com o uso de gabiões e “*rip rap*” e foi possível a identificação de imóveis na área urbana com indicação de risco (Anexo IV).

### **4.3 Alterações realizadas no Rio Sesmaria**

Nas visitas de campo realizadas no Rio Sesmaria, foi possível observar as significativas alterações provocadas pelo homem no seu desenvolvimento e geometria. No trecho urbano verifica-se que as edificações contribuíram para a alteração do seu desenho natural e da sua foz. Canalizou-se o rio com a supressão da calha secundária e permitiu-se que algumas edificações avançassem sobre a calha principal. Pontes foram construídas com suas fundações, pilares e cabeceiras interferindo na seção livre da calha principal, alterando o regime de escoamento e provocando assoreamentos localizados. Observa-se a deposição de sedimentos e a ineficácia dos serviços de dragagem executados recentemente. Muros de contenção foram construídos de forma desordenada, contrariando o curso natural do rio. Soma-se a essa desordem uma variedade de métodos para contenção, como “*rip-rap*”, cintas de concreto, blocos de

tijolo de concreto, cortinas de concreto e gabiões, impondo-se ao rio uma mudança constante no seu regime de escoamento próximo às margens. São visíveis os pontos que mostram o estrangulamento da seção do rio, como já mostrado anteriormente, bem como, no Anexo IV, apresenta-se um relatório fotográfico da Bacia do Rio Sesmaria no ano de 2013. As fotos retratam diferentes trechos do rio em paralelo com imagens do *Google Earth*..

Na área rural de Resende e São José do Barreiro, observa-se uma clara tendência ao alargamento da seção da calha principal. É possível observar grandes erosões, assim como a construção de pontes, barramentos de pedra e a atividade de extração de areia (Figura 4.3).



Figura 4.3 – Processos erosivos e atividade irregular no Rio Sesmaria  
Fonte: OLIVEIRA (2014)

## 4.4 Regime de precipitações na bacia hidrográfica

JACOB (2013) utilizando-se de dados de rede experimental não oficial operada pela GEOHECO/UFRJ e, através do uso de polígonos de Tissen, calculou a chuva ponderada que provocou as inundações na cidade de Resende em 14 e 15 de dezembro de 2010. Essa chuva foi posteriormente utilizada para determinar as manchas de inundação com diferentes tempos de recorrências (TRs) utilizados neste trabalho. Observa-se, contudo, que para um melhor entendimento sobre o valor da TR teórica do

trabalho de JACOB (2013), que pode ser associada às manchas de inundação descrita pela Defesa Civil do Município de Resende no AVADAN, bem como, áreas afetadas pelas enchentes informadas nas vistorias da perícia realizada por OLIVEIRA (2014), entendeu-se como necessário um maior entendimento sobre o regime de precipitação na bacia do Rio Sesmaria.

Segundo OLIVEIRA (2014), dados históricos existentes no Hidroweb/ANA – sistema de informações hidrológicas disponibilizado gratuitamente pela Agência Nacional de Águas (ANA) - entre o período de 1913 e 2012, estão distribuídos entre seis diferentes estações. Apesar dos lapsos temporais existentes nas séries históricas e fragilidades das mesmas, é possível afirmar que não há indicativo de excepcionalidade nas chuvas ocorridas em 2010, ou seja, que as chuvas tenham atingido TR maiores do que 25 anos.

As informações a respeito das precipitações que provocaram as enchentes em março e dezembro de 2010 podem ser extraídas dos relatos prestados pelos servidores públicos de Resende ao Ministério Público Federal (MPF) e informações acostadas ao Laudo Pericial Processo: 0000141-06.2012.4.02 - Cautelar de Produção de Provas - AA: Ministério Público Federal e União Federal - RR: Município de Resende e outro, encaminhado para a justiça federal por OLIVEIRA (2014). Outra fonte de informação refere-se ao AVADAN que é um Formulário de Avaliação de Danos elaborado pela Defesa Civil do município utilizado em anexo ao decreto de declaração de situação de emergência ou estado de calamidade pública. O AVADAN informa as características dos desastres, avalia os danos humanos, materiais e ambientais provocados pelo evento e também informa sobre os prejuízos econômicos e sociais resultantes. Segundo as informações colhidas no AVADAN (Anexo III) pode-se observar as causas do desastre e a indicação das precipitações que ocorreram como registrado na época pela Defesa Civil do Município:

Em decorrência do elevado índice de precipitação pluviométrica nas cabeceiras dos rios que cortam os municípios de Arapeí (SP) e São José do Barreiro (SP), no período de 18 horas do dia 14/12/2010 à 01 hora do dia 15/12/2010, motivando, em função de seus deságues, a elevação normal do Rio Sesmaria (Resende, RJ) em mais de 3.50 metros de altura e ocasionando, entre 22 horas do dia 14/12/2010 e 5 horas da manhã do dia 15/12/2010 alagamentos e consequentemente destruição de drenagens, pavimentações, cabeceiras de pontes, e margens deste rio nos bairros e estradas do município de Resende.



Transcreve-se também o relato no AVADAN referente ao evento de março de 2010:

Enxurrada brusca ocorrida no dia 16/03/2010 devido a fortes precipitações pluviométricas que assolaram o município a partir das 23 horas do dia 15/03/2010, perdurando durante 4 horas, acumulando aproximadamente 60mm, agravado pela chuva ocorrida no município de São José do Barreiro/SP, localizado a montante do Município ocasionando a elevação do Rio Sesmária em aproximadamente 4 metros, ocasionando o seu transbordo.

Observa-se, portanto, que nas informações oficiais e acostadas ao processo judicial existe a informação de uma chuva de 60 mm em 4h. Sabe-se também, que a Estação Formoso, em São José do Barreiro, na parte alta da bacia do Rio Sesmária, registrou elevados índices para a sua série histórica: 68,5 mm no dia 15 e 92,3 mm no dia 16. Considerando-se que o dado de precipitação de 60 mm é o único dado oficial existente quanto às precipitações que ocorreram nas enxurradas de 2010 na cidade de Resende, cabe buscar uma identificação de qual seria o tempo de recorrência (TR) mais indicado para representar a chuva que provocou os danos listados no AVADAN, ou seja, qual a melhor indicação de probabilidade, em anos, para a repetição ou superação de evento semelhante.

O objetivo é a associação dos danos provocados com uma probabilidade de repetição de evento semelhante, de forma que medidas mitigadoras da degradação da bacia, por meio do Pagamento por Serviços Ambientais possam ter os custos de implantação comparados com a expectativa de danos num determinado tempo. Diante da disponibilidade de poucos dados pluviométricos na bacia e a dificuldade, ou impossibilidade, de se aferir a veracidade dos dados de chuva informados no AVADAN, algumas considerações foram formuladas:

- A determinação da probabilidade de se repetir os eventos de março e dezembro de 2010 (chuva) no Município de Resende, e aferir os 60mm descritos pela Defesa Civil, através de dados pluviométricos existentes nesse município não é possível;
- A determinação da probabilidade de se repetir o evento do dia 14 de dezembro de 2010 (chuva) através da observação de medições no município de São José do Barreiro é possível, pelas observações da Estação Formoso disponibilizadas na Hidroweb;

- A comparação entre a precipitação informada no AVADAN para a parte baixa da bacia pode ser comparada com registros do mesmo dia na parte alta da bacia em São José do Barreiro;
- É possível buscar em estudos sobre chuvas intensas, determinações de chuvas de igual precipitação e duração para extrair a sua frequência como instrumento de verificação da probabilidade de voltar a ocorrer evento semelhante.

Um primeiro passo, no esclarecimento dessas considerações, seria a comparação desses dados com os dados passíveis de se extrair da publicação “Chuvas Intensas no Brasil” (PFAFSTETTER, 1982). A Equação 4.1 apresenta a fórmula do posto pluviométrico de Resende e tabelas referentes aos valores de  $\alpha$  e  $\beta$  (Tabelas 4.1 e 4.2).

$$P = K [0.3t + 31 \cdot \log(1 + 20t)] \quad (4.1)$$

$$K = T^{\alpha + \frac{\beta}{T^{0.25}}}$$

Tabela 4.1 – Valores de  $\alpha$

t	15min	30min	1h	2h	4h	8h	14h	24h	48h
$\alpha$	0.122	0.138	0.156	0.166	0.174	0.176	0.174	0.170	0.166

Fonte: Chuvas Intensas no Brasil (PFAFSTETTER, 1982)

Tabela 4.2 – Valores de  $\beta$

5min	15min	30min	1h a 6d
0.04	0.08	0.08	0.08

Fonte: Chuvas Intensas no Brasil (PFAFSTETTER, 1982)

Nas curvas de precipitação x duração (PFAFSTETTER, 1982) para o posto pluviométrico de Resende (Figuras 4.4, 4.5 e 4.6), pode-se observar que a chuva de 60 mm não seria significativa para a ocorrência de elevadas vazões na bacia que causariam o evento ocorrido. Observa-se que a precipitação de 60 mm em 4 horas indica uma chuva ordinária ou comum com período de retorno de 1 ano. Uma análise mais ousada que considerasse que o verdadeiro registro de chuvas torrenciais de quatro horas, seria o valor mais alto assinalado na Estação Formoso de 92,3 mm e não os 60 mm do AVADAN, levaria a um valor de TR que se aproxima dos 10 anos, observando-se as curvas formuladas pelo mesmo autor. Observando-se o histórico das precipitações na rede oficial Hidroweb, na rede operada pelo GEOHECO/UFRJ, mapas do AVADAN, relatos históricos e depoimentos de moradores referentes a frequência de enchentes de

igual magnitude, entende-se como, bastante provável, que se existissem dados mais consistentes, as chuvas de 2010 seriam caracterizadas como chuvas de TR no intervalo de 1 a 10 anos.

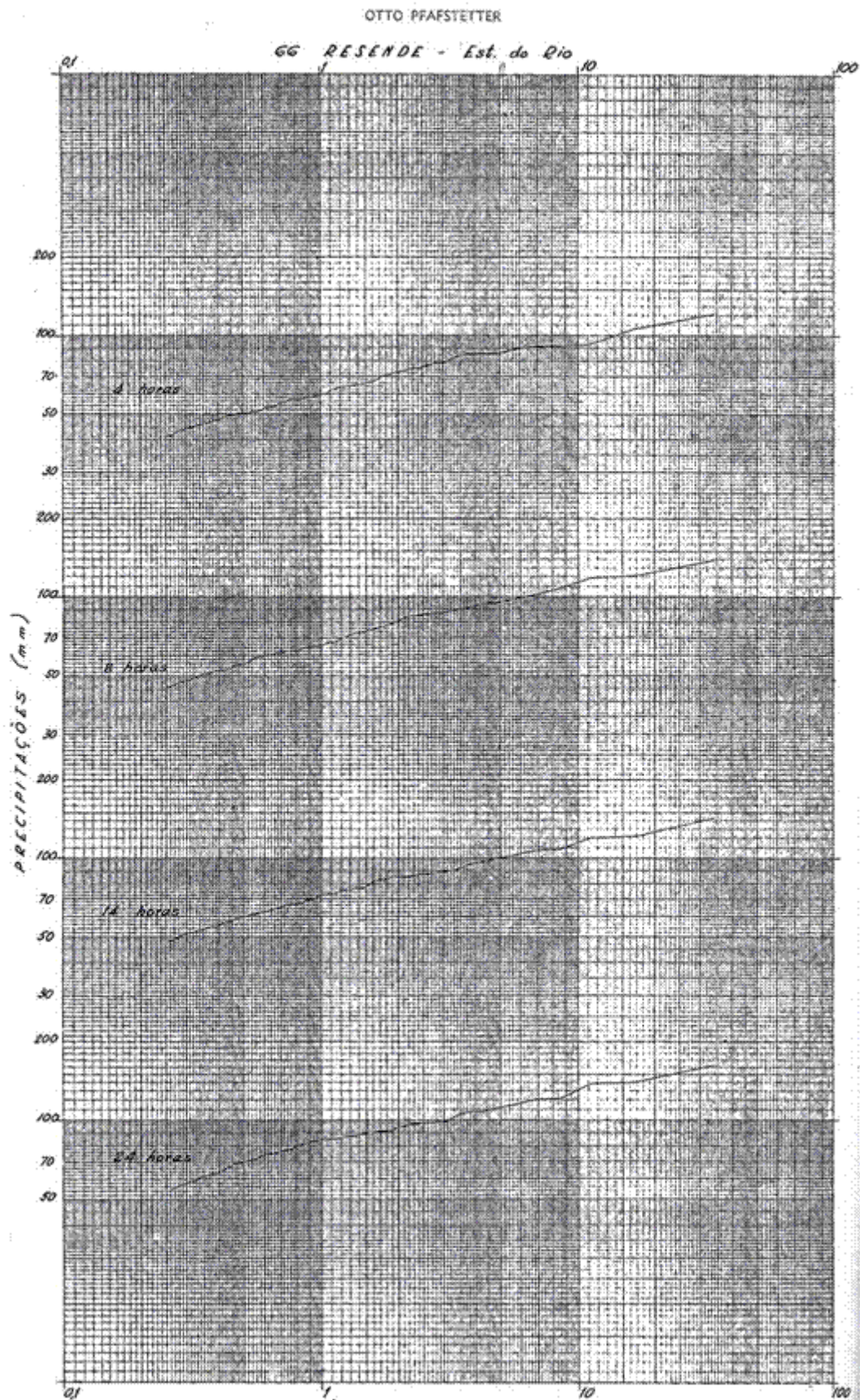


Figura 4.4 - Curvas de precipitação x duração para o posto pluviométrico de Resende  
Fonte: Chuvas Intensas no Brasil (PFAFSTETTER, 1982)



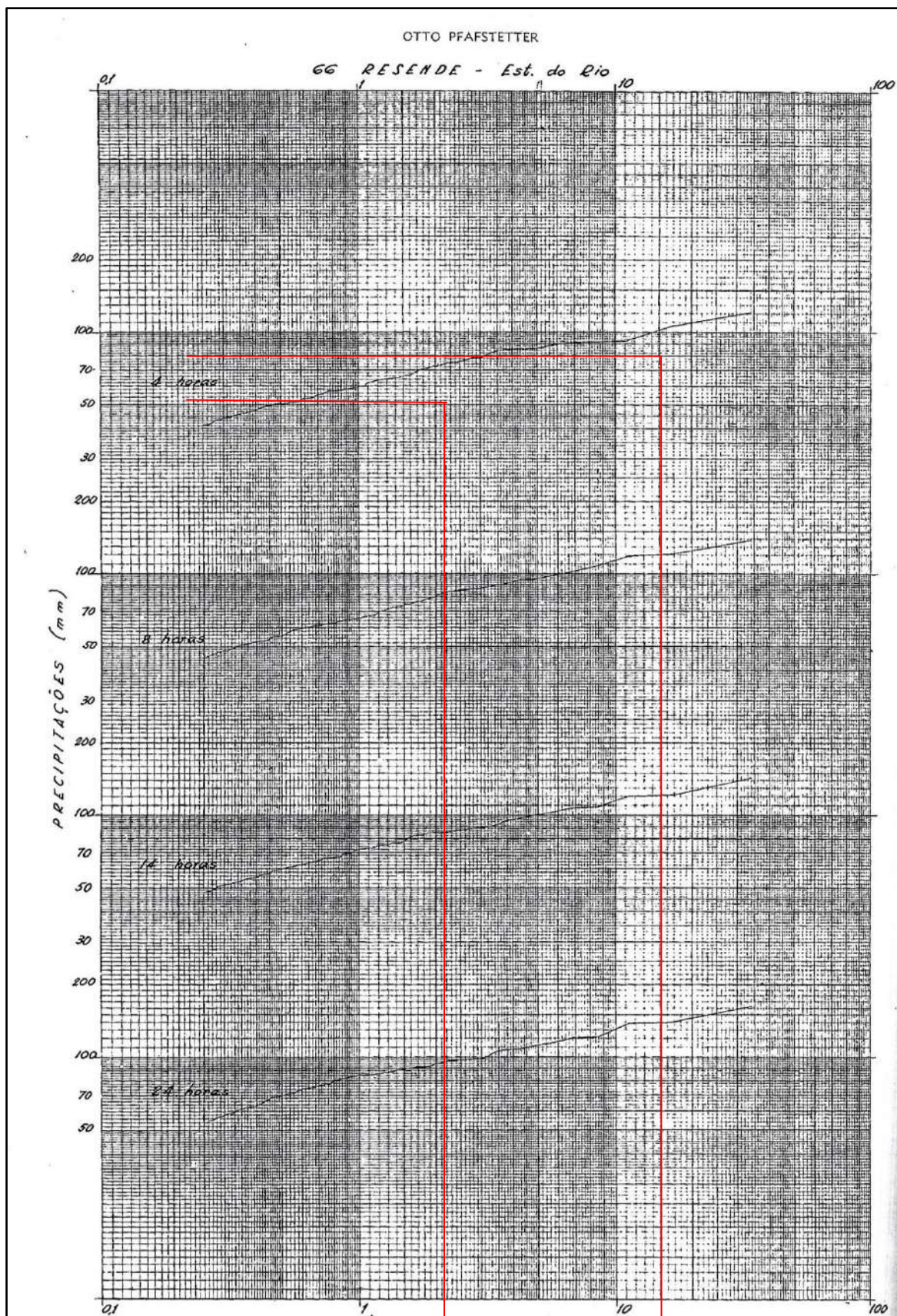


Figura 4.5 - Curvas de precipitação x duração para o posto pluviométrico de Resende  
 Fonte: Chuvas Intensas no Brasil (PFAFSTETTER, 1982)



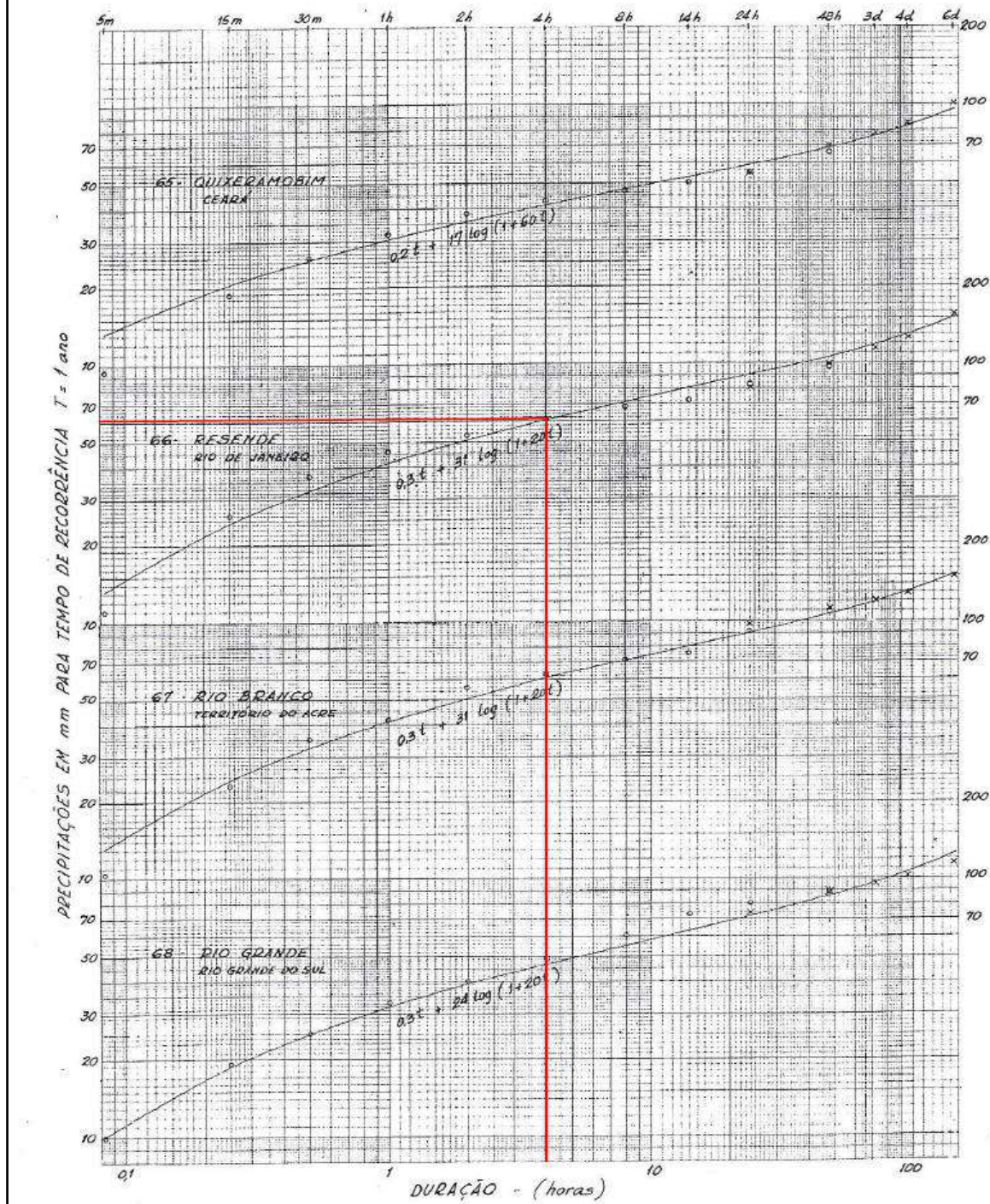


Figura 4.6 - Curvas de precipitação x duração para o posto pluviométrico de Resende  
 Fonte: Chuvas Intensas no Brasil (PFAFSTETTER, 1982)

Deve-se, portanto, investigar um pouco mais qual seria a real precipitação que se abateu sobre a bacia em 14/12/2010 e sua tipicidade, ou tempo de recorrência, de modo que se possa entender a periodicidade, ou melhor, a probabilidade de repetição de danos de eventos semelhantes ao longo do tempo. Um primeiro ponto seria a comparação dos dados extraídos do livro “Chuvas Intensas no Brasil” (PFAFSTETTER, 1982), com outros caminhos metodológicos que busquem a interpretação de chuvas intensas. Inúmeras são as equações de chuvas brasileiras, mas para efeito de comparação com os dados obtidos, recomenda-se usar aquelas que já têm seus coeficientes ajustados para o Município de Resende.

Uma forma bastante usual de se expressar as relações de intensidade-duração-frequência (IDF) é a expressão obtida de ajustes de distribuição de frequência como Equação Geral (Equação 4.2):

(4.2)

$$i_{max} = \frac{K * T_R^m}{(t + t_0)^n}$$

Observa-se, portanto, que a precipitação descrita no AVADAN indica evento ordinário, que não é compatível com as vazões e cotas atingidas no Rio Sesmaria na data das enchentes. Representativo de que a enchente descrita não era ordinária, é a surpresa que sua magnitude causou no município por não ser fato corriqueiro, lembrando aos moradores mais antigos, as enchentes que ocorriam no centro de Resende, antes da entrada em operação da barragem do Funil. Segundo OLIVEIRA (2014), através de pesquisa, verificou-se que em décadas passadas, as grandes enchentes nesse município estavam sempre atreladas ao Rio Paraíba do Sul, e não tomavam as manchetes os registros de inundações causadas pelo Rio Sesmaria. Segundo PANIZZUTTI (2010), o problema é que havia grandes enchentes em Resende e rio abaixo. Esta represa (Funil) foi planejada para tornar o rio comportado. Resende e a região saíram ganhando: acabaram-se as enchentes e o problema crônico da falta de luz.

Outro fato, a corroborar a teoria aqui discutida é que o autor, em que pese a longa narrativa histórica, ao abordar o problema das enchentes, não faz nenhuma referência quanto às inundações e danos provocados pelo Rio Sesmaria. Fatos ocorridos auxiliam na compreensão de que o histórico de enchentes no município de Resende não decorria de enchentes provocadas pelo Rio Sesmaria.

Contudo, se as enchentes no passado, no centro de Resende, não eram provocadas pelo Rio Sesmária, uma enchente com a magnitude das ocorridas em 2010 só poderia ser provocada por chuvas de baixa precipitação e baixo período de retorno, se alguma obstrução abrupta da calha tivesse ocorrido, mas tal fato não ocorreu. Ocorreram sim, ao longo das décadas, diversas mudanças no desenvolvimento do rio, na sua foz e na ocupação de áreas baixas nas margens provocadas pela urbanização, como pode ser verificado no Anexo V.

É possível observar que entre o ano de 1965, período em que foram tiradas algumas aerofotos, e o ano de 2009 (Anexo V), quando se fala de uma enchente com impacto em poucas casas, e o ano das duas grandes enchentes em 2010, verifica-se que as duas cheias de 2010 alagaram muitos bairros da cidade e provocaram estragos em pontes e muros que estavam confinando o rio. Moradores afirmam que a enchente de dezembro de 2010 foi pior do que a que ocorreu em março do mesmo ano. Em abril de 2012, o Rio Sesmária atingiu 1 metro acima do nível normal na cidade de Resende, preocupando a população, mas não transbordando. Ressalta-se, portanto, que no histórico das enchentes provocadas pelo Rio Sesmária têm-se três eventos: um pequeno em 2009 e duas grandes inundações em 2010. É importante observar que após as dragagens realizadas em 2011, que diminuíram o assoreamento histórico da calha, não ocorreram enchentes provocadas pelo Rio Sesmária.

Assim, considerando-se os relatos e dados existentes, desde que entrou em operação a barragem do Funil em 1969, evitando-se as inundações provocadas no centro de Resende pelo Rio Paraíba do Sul, a cidade de Resende registrou três enchentes entre 1969 até 2016, ou seja, contando com 2016, observa-se a ocorrência de 3 eventos num prazo de 48 anos. Esses fatos indicam a não ordinariade das enchentes de 2010, em que pese o atual desequilíbrio do Rio Sesmária, e a ocupação de parte de seu leito por construções, que obstruem parcialmente a sua calha principal.

Observando-se que: as enchentes que ocorreram em 2010 não se reproduzem ordinariamente, e que nas últimas décadas só ocorreram duas vezes; considerando que a precipitação descrita no AVADAN parece não representar com exatidão o que ocorreu; é preciso buscar caminhos para esclarecer a real intensidade, tempo de duração e TR das chuvas que se abateram na bacia em 2010. Deve-se, então, observar com mais atenção os dados disponibilizados pela ANA, para as estações que se encontram na bacia do Rio Sesmária e as que estão próximas ao seu entorno (Figura 4.7) e respectivos dados (Tabela 4.3). Assim, após trabalhar com os dados



disponibilizados nas curvas IDF para o município de Resende, deve-se olhar para os dados brutos das precipitações, buscando entendê-los, e sua probabilidade de repetição de valores, como o de 60 mm. Neste caso, a consideração estatística estará restrita apenas aos dados indicados pelos pluviômetros sem a preocupação de determinação de TRs relativos a chuvas de projeto. Observe-se que não se busca a comparação entre precipitações de diferentes conceitos (chuvas intensas x medições pluviométricas), mas sim, examinando esses diferentes dados dentro do seu conjunto, entender melhor a probabilidade de nova ocorrência igual à de março de 2010.



Figura 4.7 - Estações no sistema Hidroweb para a Bacia do Rio Sesmaria  
 Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2016)

Tabela 4.3 – Dados das estações no sistema Hidroweb para a Bacia do Rio Sesmaria

Código	Estação	Município	Período dos dados
2244006	São José do Barreiro	São José do Barreiro	Janeiro/1943 – Dezembro/2002
2244020	Núcleo Col. Bandeirantes	São José do Barreiro	Janeiro/1913 – Dezembro/1967
2244152	Formoso	São José do Barreiro	Janeiro/1995 – Fevereiro/2012
2244009	Arapeí	Arapeí	Janeiro/1969 – Abril/1996
2244092	Resende	Resende	Janeiro/1911 – Dezembro/1998
2244161	Resende (Aeroporto)	Resende	Novembro/2004 – Novembro/2012

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2016)

Os dados coletados permitiram montar o gráfico (Figura 4.8) onde se pode observar, de acordo com OLIVEIRA (2014), que existe grande inconsistência nas séries históricas. Pode-se também observar, que na rede Hidroweb, a única

disponibilidade de dados de precipitação encontrados para o dia 14 de dezembro de 2010, são obtidos através na Estação Formoso. Os dados apresentam uma precipitação para o dia 15 de 68,5 mm, semelhante ao dado relatado no AVADAN para o dia 16 (60 mm), e de 92,3 mm para o dia 16 de março, indicando a continuidade das chuvas na parte alta da bacia. Pode-se também observar registros de chuvas mais intensas, não associadas a relatos de enchentes em Resende, como é o caso, por exemplo, do registro de uma chuva de 140.7 mm no dia 3 de janeiro de 2000. Através do gráfico, buscou-se a identificação da precipitação, através dos dados da estação Formoso, para o dia 16 de março de 2010. Observando-se a série histórica, temos um total de 270 registros assinalados. Extraindo-se desses registros o TR para a chuva registrada neste posto em março de 2010, encontraremos um  $TR = 38,71$  anos (Tabela 4.4), ou seja, pode-se esperar que o evento de março de 2010 se iguale, ou ultrapasse nesse prazo. Caracteriza-se, portanto, que o evento de março de 2010 não tem registros corriqueiros na Estação Formoso, e está associado a um TR bem mais elevado do que o até aqui apurado. Observa-se também, que precipitações próximas a 60 mm, como a registrada no AVADAN, estão associadas a um TR de 27 anos.

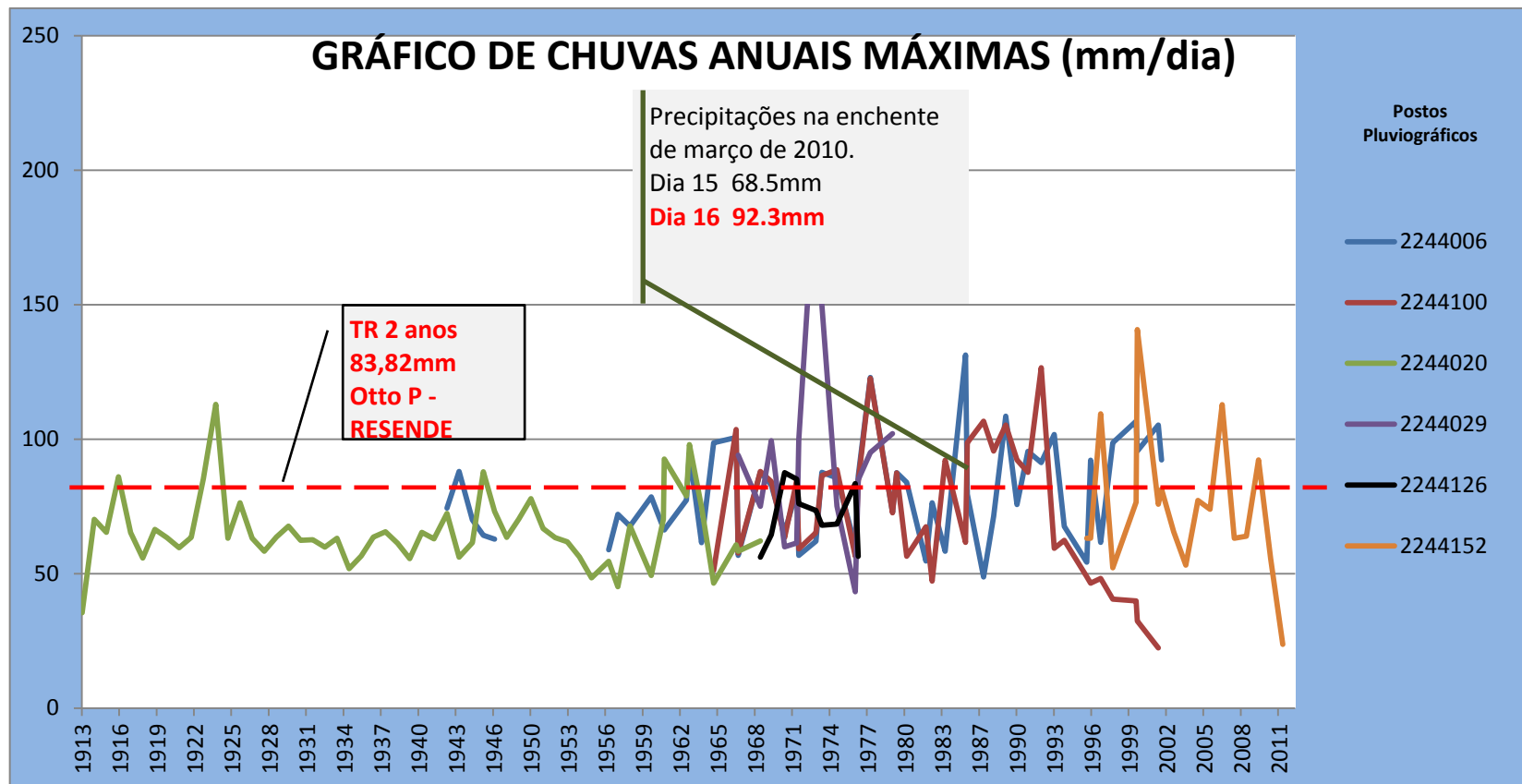


Figura 4.8 – Gráfico de chuvas anuais máximas (mm/dia)  
Fonte: OLIVEIRA (2014)

Tabela 4.4 - TR para precipitações máximas mensais - Estação Formoso

Evento	Máxima	Ordem	Frequência	TR
1	63.1	140.7	0.00369	271
2	52.4	112.8	0.00738	135.5
3	95.1	112.8	0.01107	90.33333
4	47.7	109.4	0.01476	67.75
5	28.1	95.1	0.01845	54.2
6	45	95.1	0.02214	45.16667
7	63.1	92.3	0.02583	38.71429
8	52.4	81.4	0.02952	33.875
9	95.1	81.4	0.03321	30.11111
10	61.1	77.2	0.0369	27.1
11	18.5	77.2	0.04059	24.63636
12	14.6	76.6	0.04428	22.58333
13	0.2	75.8	0.04797	20.84615
14	23.3	73.9	0.051661	19.35714
15	46.7	73.9	0.055351	18.06667

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2016)

Observou-se que os dados coletados na estação após 2010 encontram-se fragmentados, mas foi possível identificar que em nenhum dos meses com registros disponíveis, o valor de 68,5 mm ou de 92,3 mm voltou a ser alcançados. Os dados existentes não permitem que se formule um conceito definitivo quanto ao provável tempo de recorrência, que poderia estar associado ao evento de 2010. Contudo, já se pode observar pelos dados levantados, e o histórico de enchentes relatadas, que as precipitações que ocorreram não devem ser consideradas como ordinárias. Mas também, não devem ainda estar associadas a tempos de recorrência muito elevados, considerando-se apenas os registros existentes na Estação Formoso. Procurando avançar um pouco mais nessa discussão, de modo que se possa interpretar com mais precisão as possibilidades de repetição do evento e dos danos associados, deve-se observar também a caracterização de chuva de projeto desenvolvida por JACOB (2013). Em seu estudo, a autora determinou as chuvas de projeto na Bacia do Rio Sesmaria e pode-se verificar que na falta de dados de precipitação mais consistentes na rede Hidroweb, foram também utilizados dados de estações experimentais da UFRJ. Para representar a chuva que causou enchentes na cidade de Resende no dia 15 de dezembro de 2010, JACOB (2013) utilizou as estações do GEOHECO. Foram geradas chuvas de projeto, com o uso do *software* HIDRO-FLU, para tempos de recorrência (TR) igual a 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Para isso, foi necessário informar ao HIDRO-FLU os dados da bacia do Rio Sesmaria, determinar o tempo de concentração, definir o tempo de duração da chuva e o

tipo de equação de chuvas intensas a ser utilizado. Para este caso de estudo, o tempo de concentração adotado foi de 660 minutos, calculado através da fórmula de *Kirpisch*. O tempo de duração da chuva foi definido como sendo igual ao tempo de concentração, a equação de chuvas intensas utilizada foi a de PFAFSTETTER (1982) com os dados do posto pluviométrico de Resende. A chuva foi dividida em intervalos de 30 minutos. Os resultados obtidos são indicados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Precipitação determinada para diferentes TRs

TR	Precipitação (mm)
2	70.1
5	85.6
10	98.3
25	116.8
50	132.1
100	149.0

Fonte: JACOB (2013)

JACOB (2013) não apresenta em seus estudos o tempo de recorrência que estaria associado ao evento do dia 14 de dezembro de 2010. A autora trabalhou com um tempo de duração de chuva de 660 minutos, igual ao tempo de concentração determinado. Uma observação dos tempos de TR identificados na Tabela 4.5 permitiria que, supondo-se que a chuva que foi registrada no Posto de Formoso tivesse a duração e distribuição semelhante a da admitida por JACOB (2013), esta chuva estaria associada a um TR entre 5 e 10 anos. Na falta de outros dados, e considerando a análise realizada com os dados da estação Formoso, e informações obtidas de PFAFSTETTER (1982), a adoção de um TR entre 5 e 10 anos pode ser considerado representativo para a chuva que se abateu na enchente de 14 de dezembro de 2010 na bacia do Rio Sesmaria.

Contudo, pode-se fazer mais uma simulação que leve a consolidação de observações através dos dados fornecidos pelo programa Plúvio 2.1. Segundo OLIVEIRA (2003) uma exponencial decrescente, com a intensidade máxima instantânea de precipitação, ocorrendo a partir do início do evento, é a característica do modelo proposto por PRUSKI *et al.* (1997). Na equação proposta (Equação 4.3), os parâmetros utilizados são obtidos a partir da equação de intensidade, duração e frequência para a localidade em estudo, expressa por:

(4.3)

$$i_i = i_m \left( 1 - \frac{c t}{t + b} \right) \quad \text{Onde: } i_m = \frac{K T^a}{(t + b)^c}$$

em que:

$i_i$  = intensidade instantânea de precipitação, mm h<sup>-1</sup>;

$i_m$  = intensidade máxima média de precipitação, mm h<sup>-1</sup>;

$t$  = duração da precipitação, min;

$T$  = período de retorno, anos; e

$K, a, b, c$  = parâmetros da equação de chuvas intensas relacionadas com a localidade de interesse.

Para o município de Resende, PRUSKI *et al.* (1997) definiram a seguinte equação (Equação 4.4):

(4.4)

$$i_{max} = \frac{1652,972 * TR^{0,182}}{(t + 21,410)^{0,767}} \quad mm/hora$$

Essa equação também será obtida, se forem utilizados os dados disponibilizados pelo programa Plúvio 2.1 da Universidade de Viçosa (Figura 4.9), como apontam os resultados abaixo:



# Plúvio 2.1

Copyright (2006) © GPRH



## RELATÓRIO

Parâmetros da Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação

### LOCALIZAÇÃO:

**Localidade:** Resende

**Estado:** Rio de Janeiro

**Latitude:** 22°28'08"

**Longitude:** 44°26'48"

### PARÂMETROS DA EQUAÇÃO:

**K:** 1652,972

**a:** 0,182

**b:** 21,410

**c:** 0,767

### MAPA DE LOCALIZAÇÃO:



Figura 4.9 – Dados para o município de Resende

Fonte: PLÚVIO 2.1

Utilizando-se os dados do programa PLÚVIO 2.1 e considerando-se o tempo de concentração estimado por JACOB (2013) de 660 minutos, e uma chuva média de 15 mm, representativa da chuva de 60 mm em 4 horas registrada no AVADAN, obtêm-se os seguintes valores:

$$I_{\max} = (1652,972 * T_R^{0,182}) / (t + 21,410)^{0,767}$$

$$15 \text{ mm} = (1652,972 * T_R^{0,182}) / (660+21,410)^{0,767} = (1652,972 * T_R^{0,182}) / 681,410^{0,767}$$

$$15 \text{ mm} = (1652,972 * T_R^{0,182}) / 149.0131 = 11,0928 * T_R^{0,182}$$

$$T_R^{0,18} = \rightarrow TR = 1,3522^{5,49} = \mathbf{5,2416}$$

Assim, encontra-se valor de **TR de 5,2416** ao admitir-se 15mm como precipitação média.

Outra suposição, bem mais crítica, seria a admissão de que a chuva média precipitada foi maior, e estaria representada pelos registros de 92,3 mm, registrada em São José do Barreiro.

Tomando-se como parâmetros os dados fornecidos pelo programa PLÚVIO 2.1 para São José do Barreiro (Figura 4.10) e admitindo-se que essa chuva ocorreu num período igual ao determinado por JACOB (2013) temos:

$$K = 1831,328; a = 0169; b = 22,984; c = 0,798$$

Considerando-se que a chuva acumulada de 92,3mm tenha ocorrido no mesmo tempo de chuva, estipulado para tempo relatado para Resende, indicando-se uma precipitação média de 23,075 mm, e um tempo de concentração de 660 minutos:

$$I_{\max} = (1831,328 * T_R^{0,169}) / (660 + 22,984)^{0,798}$$

$$23,075 \text{ mm} = (1831,328 * T_R^{0,169}) / (660 + 22,984)^{0,798} = (1831,328 * T_R^{0,169}) / 682,984^{0,798}$$

$$23,075 \text{ mm} = (1831,328 * T_R^{0,169}) / 182,75 = 10,02 * T_R^{0,169}$$

$$T_R^{0,169} = 1,0751 \rightarrow TR = 2,302^{5,9171} = \mathbf{138,87}$$

Assim, encontra-se valor de **TR de 138,87** ao admitir-se 23,075 como precipitação média.

Os dados de precipitação da Estação Formoso para o dia 14 de dezembro de 2010, indicam uma precipitação centenária, como se pode observar.



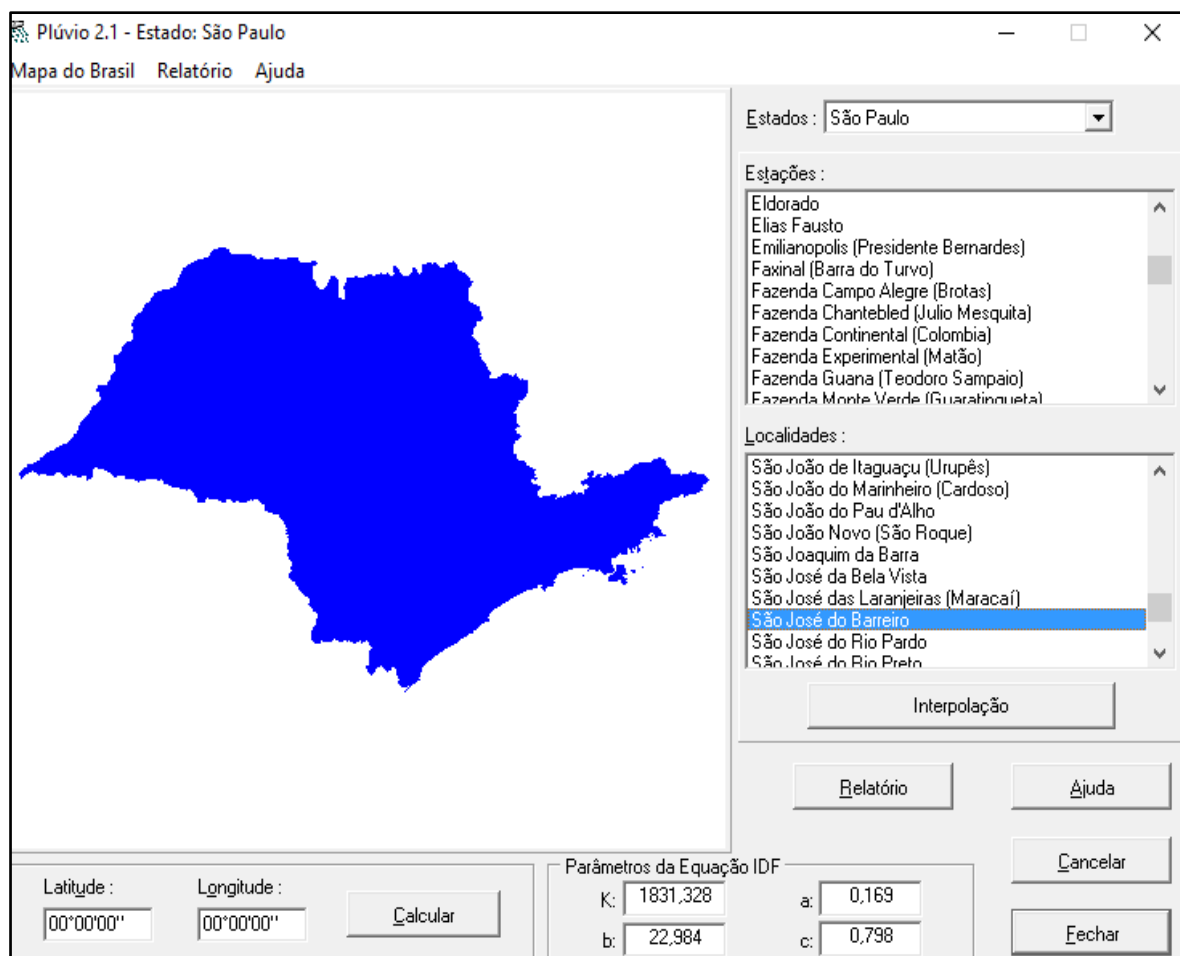


Figura 4.10 - Dados para a estação São José do Barreiro  
Fonte: PLUVIO 2.1

Os dados existentes não permitem que se formule um conceito definitivo quanto ao provável tempo de recorrência que poderia estar associado ao evento de 2010. Contudo, pode-se observar pelos dados levantados e o histórico de enchentes relatadas, que as precipitações que ocorreram, se não devem ser consideradas como ordinárias, também não devem estar associadas a tempos de recorrência muito elevados.

Sendo assim:

- Considerando-se que a cidade de Resende registrou 3 enchentes entre os anos de 1969 e 2016, ou seja, observa-se a ocorrência de 3 eventos num prazo de 48 anos, incluindo 2016;
- Considerando-se que desde 2010 nenhuma nova enchente foi registrada na cidade de Resende;
- Considerando-se que os registros pluviométricos existentes são precários, e que só existe registro oficial (Hidroweb) da precipitação de 14 de dezembro de 2010 no Posto de Formoso, e isto indicaria que, preferencialmente,

podem-se associar os registros com os relatos da população para aferir a sua frequência e intensidade;

- Considerando-se que, embora as curvas IDF obtidas através de PFASFETETTER (1982) indicam que a chuva de 60 mm com 4h indicada no AVADAN, seria uma chuva com  $TR=1$ ;
- Considerando-se que os dados obtidos na estação Formoso nos dias 15 e 16 indicam que o tempo de precipitação foi maior que 4 horas, e elevadas precipitações ocorreram consecutivamente nesses dias;
- Considerando-se que a afirmação acima afastaria a hipótese formulada na consideração anterior de um  $TR=1$  ano;
- Considerando-se os TRs estabelecidos por JACOB (2013), no seu trabalho;
- Considerando-se a comparação desses resultados com o obtido com as simulações obtidas com ajuda do programa PLUVIO 2.1, e que uma chuva de 92,3 mm situar-se-ia entre um TR 10 e TR 5, segundo a Tabela 4.5;
- Considerando-se que a análise estatística dos dados de precipitação da estação Formoso indica que a chuva de 16 de março está associada a um TR de 38,71429;
- Considerando-se que para uma correlação entre danos reais provocados pela enchente de 16 de março de 2010 e medidas de prevenção através de Pagamento de Serviços Ambientais, pode-se atuar num nível de projeto que não seja o requerido para projetos executivos de controle de enchentes;
- Considerando-se que os dados disponíveis indicam uma provável associação da chuva de dezembro de 2010 com  $TR > 5$  anos.

Portanto, adotar-se-á o evento balizador de comparações econômicas entre os danos provocados pela enchente de dezembro de 2010, com TR de 10 anos, para avaliação econômica da implantação de Serviços de Pagamentos Ambientais.

## 4.5 Modelagem Matemática na Bacia do Rio Sesmaria

Para análise das manchas de alagamento na Bacia do Rio Sesmaria, utilizou-se o estudo já desenvolvido por JACOB (2013), em sua dissertação de Mestrado, no qual se propôs cinco cenários de simulação para diferentes  $TR_s$ . Entretanto, neste trabalho utilizar-se-á a simulação para um TR igual a 10 anos, conforme conclusão da discussão no item 4.4. São apresentados a seguir todos os cenários considerados por JACOB (2013).

### *4.5.1 Situação atual de alagamentos em Resende*

Neste cenário a bacia foi simulada tal como é, com todas as intervenções já realizadas no rio Sesmaria e com a situação atual de uso e cobertura do solo. A simulação das condições atuais da bacia hidrográfica do Rio Sesmaria, considerando as características de uso e ocupação do solo e a topografia existentes, resultou em uma série de informações de níveis d'água e vazões que permitiram a elaboração de mapas de inundações da bacia para diferentes tempos de recorrência. Entretanto, são resgatadas, para este trabalho, as manchas de alagamento correspondentes ao TR de 10 anos, em função de toda a discussão apresentada anteriormente. A partir da análise do mapa de inundação apresentado, na Figura 4.11, para TR10, observa-se que é crítica a condição da bacia para o evento de chuva simulado, principalmente na sua área urbana, próxima à foz do rio Sesmaria, apresentando regiões com alagamentos superiores a 1,0 metro.

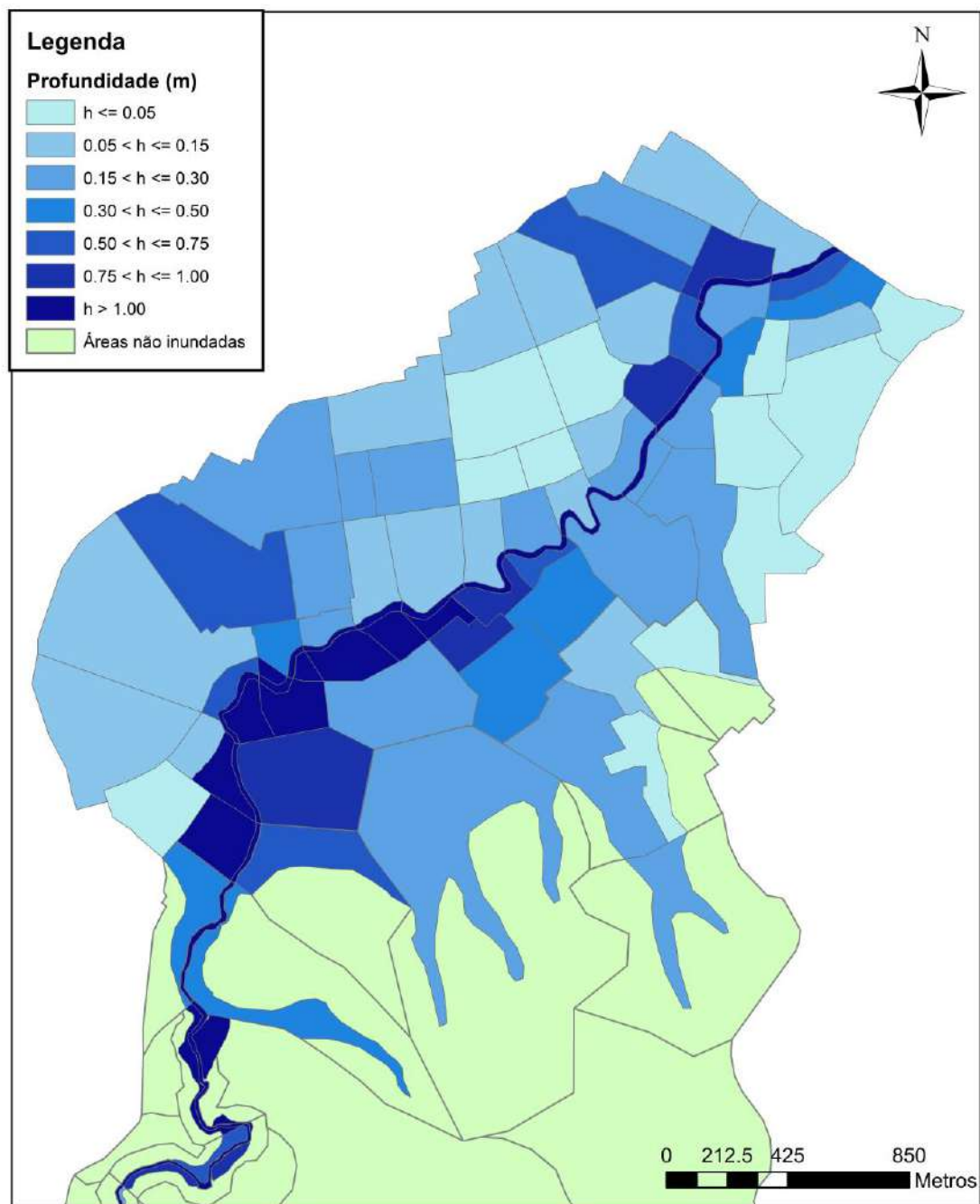


Figura 4.11 - Mapa de inundação da área urbana nas condições atuais da bacia TR=10 anos  
Fonte: JACOB (2013)

#### 4.5.2 Situação de alagamentos no passado, com a bacia antes do desmatamento

Este cenário foi uma simulação da bacia antes de qualquer intervenção antrópica, ainda com a vegetação nativa e sem a presença da cidade de Resende junto à foz do rio. A simulação da bacia nas condições anteriores ao desmatamento da Mata Atlântica, e antes do processo de sedimentação provocado pelo desmatamento, permitiu a

elaboração dos mapas de inundação para o passado. A Figura 4.12 apresenta o mapa para um tempo de recorrência de 10 anos. É possível observar que, praticamente, não houve extravasamento significativo da calha do rio. As demais áreas com alagamento são áreas baixas e no passado, provavelmente, eram áreas de charco devido ao lento escoamento e acúmulo de águas superficiais.

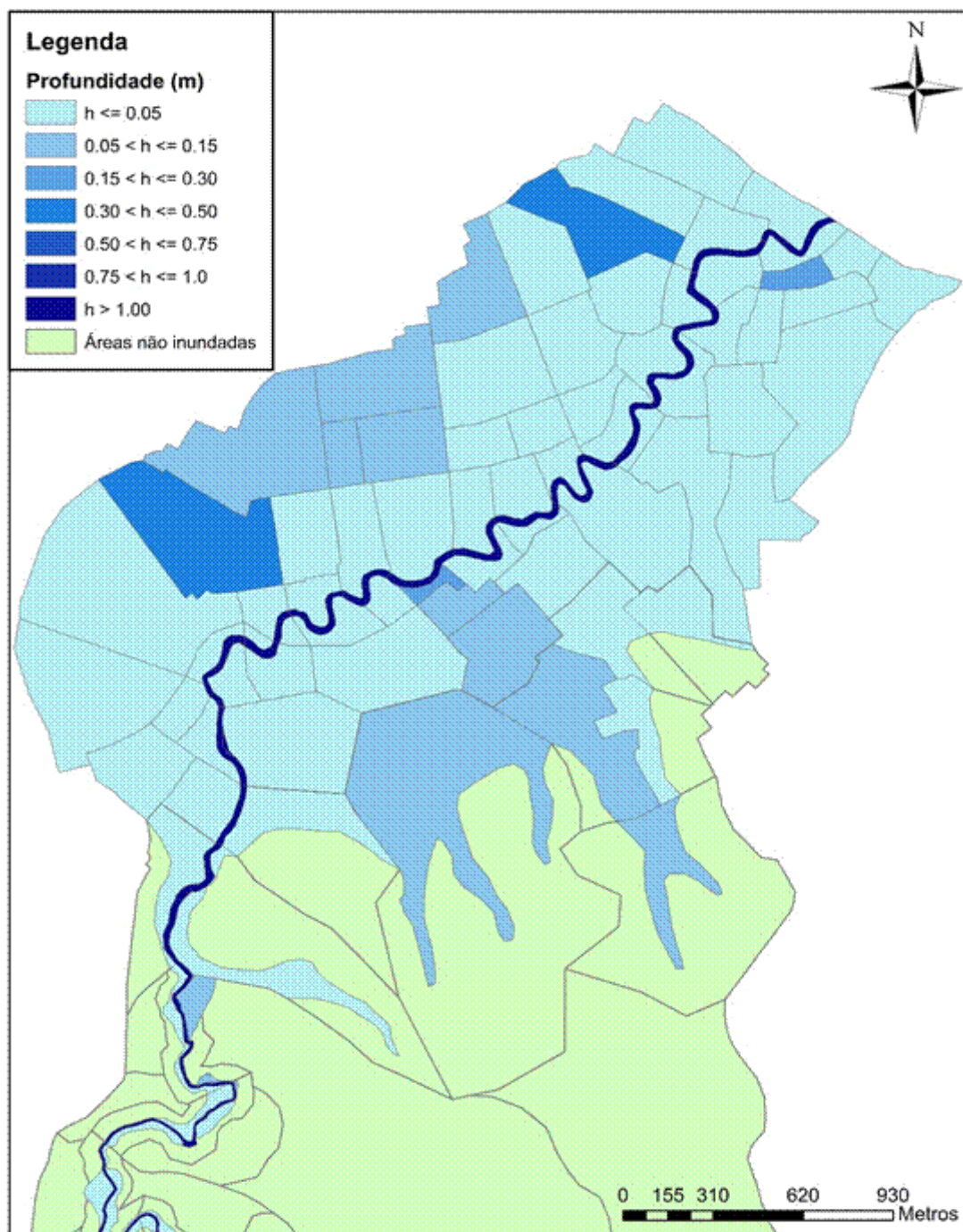


Figura 4.12 – Mapa de Inundação da área urbana nas condições do passado TR = 10 anos  
Fonte: JACOB (2013)

#### ***4.5.3 Situação de alagamentos em Resende, caso a bacia tivesse se preservado ao longo do tempo***

Neste caso, apenas a área rural da bacia foi preservada, portanto, considera-se a urbanização atual na foz, com a presença da cidade de Resende, mas com as feições do passado no restante da bacia, como as cotas do terreno e a cobertura do solo. Neste cenário objetivou-se demonstrar que, considerando a cidade de Resende com as mesmas proporções e localização, o Rio Sesmaria se comportaria melhor hoje do que na situação em que (na realidade) ocorreu o desmatamento das florestas para o cultivo do café. Foram feitas simulações hidráulicas com o perfil do rio no passado (mais profundo), com a planície de inundação um pouco mais baixa, com a parte rural da bacia toda reflorestada e sem as obras que prejudicam o escoamento. A partir da simulação da bacia com igualdade de antropização na área urbanizada, mas com a área rural e a topografia nas condições pré desmatamento, apresenta-se o mapa de inundação para TR de 10 anos (Figura 4.13). É possível observar que, caso a bacia tivesse sido preservada, a ocorrência de alagamentos seria significativamente menor. Não foi observado extravasamento significativo, como os atuais, no cenário hidrológico simulado.



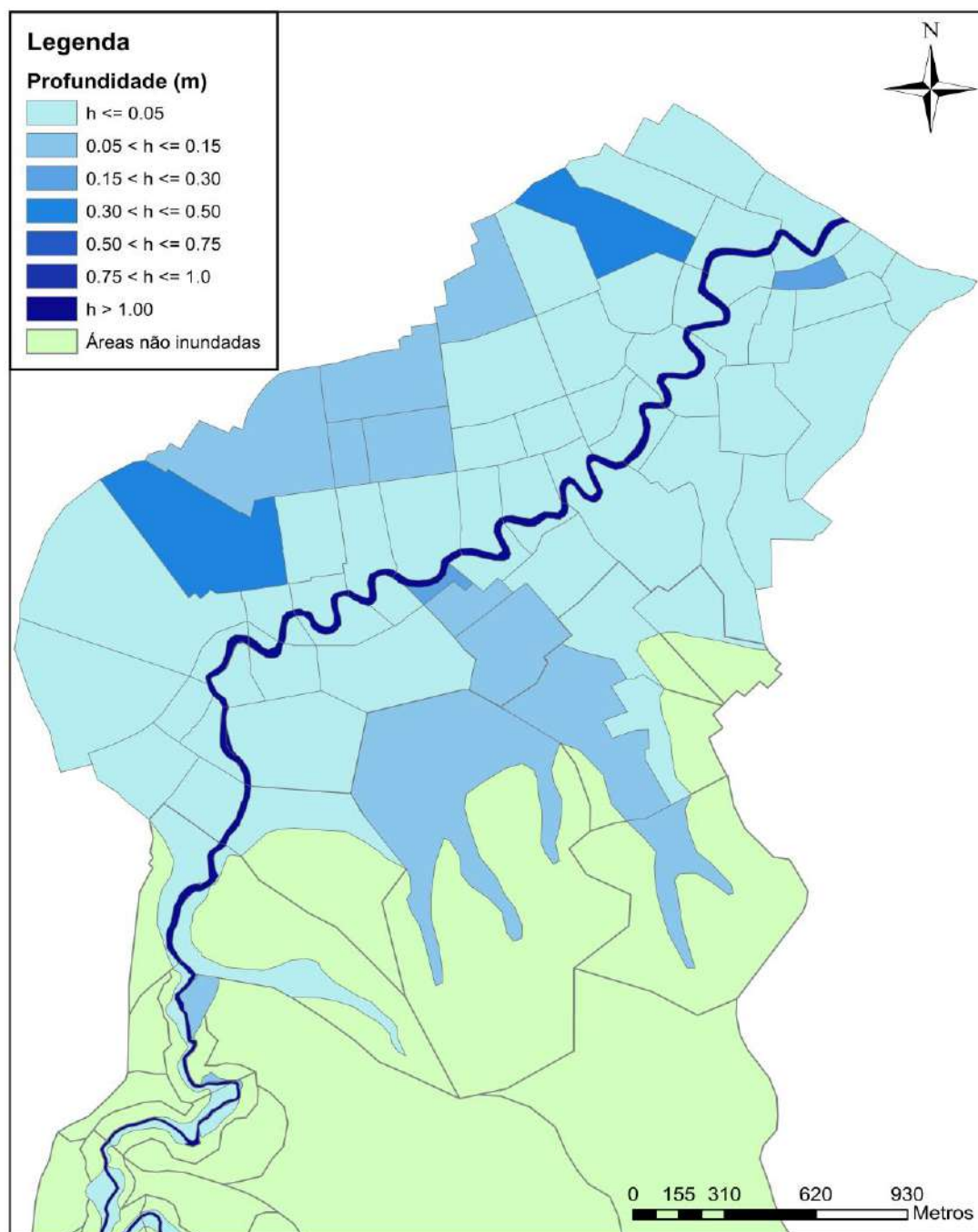


Figura 4.13 - Mapa de inundação da área urbana da bacia do Rio Sesmária - condição de uso e cobertura da área urbana atual - área rural e topografia passada - TR = 10 anos.

Fonte: JACOB (2013)

#### ***4.5.4 Situação de alagamentos em Resende, caso seja adotado um processo de requalificação fluvial***

Neste cenário a faixa marginal de proteção foi demarcada e revegetada, assim como os topos de morro recuperados e efetivados como APA, conforme prevê o

Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012). Considera-se essa alternativa o início de um processo de requalificação fluvial, devido ao estabelecimento de um espaço mínimo destinado ao rio e a proteção de encostas, a fim de minimizar os processos erosivos, resgatando parte da funcionalidade original da bacia, com a redução de vazões líquidas e sólidas.

A faixa marginal de proteção (FMP) em área rural foi demarcada e revegetada, conforme prevê o Código Florestal Lei 12.651/2012, Artigo 4º, Incisos I e IX:

“Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: a) 30 (trinta) metros, para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura; b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura (...).  
(...) no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d’água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação.”

A simulação deste cenário permitiu a elaboração dos mapas de inundação, a partir das respostas de nível d’água por célula de escoamento. A análise do mapa de alagamento (Figura 4.14) para o TR=10 anos, permite observar que a alternativa de requalificação fluvial proporciona melhoras significativas, reduzindo as áreas alagadas e os níveis de água nas áreas urbanas.



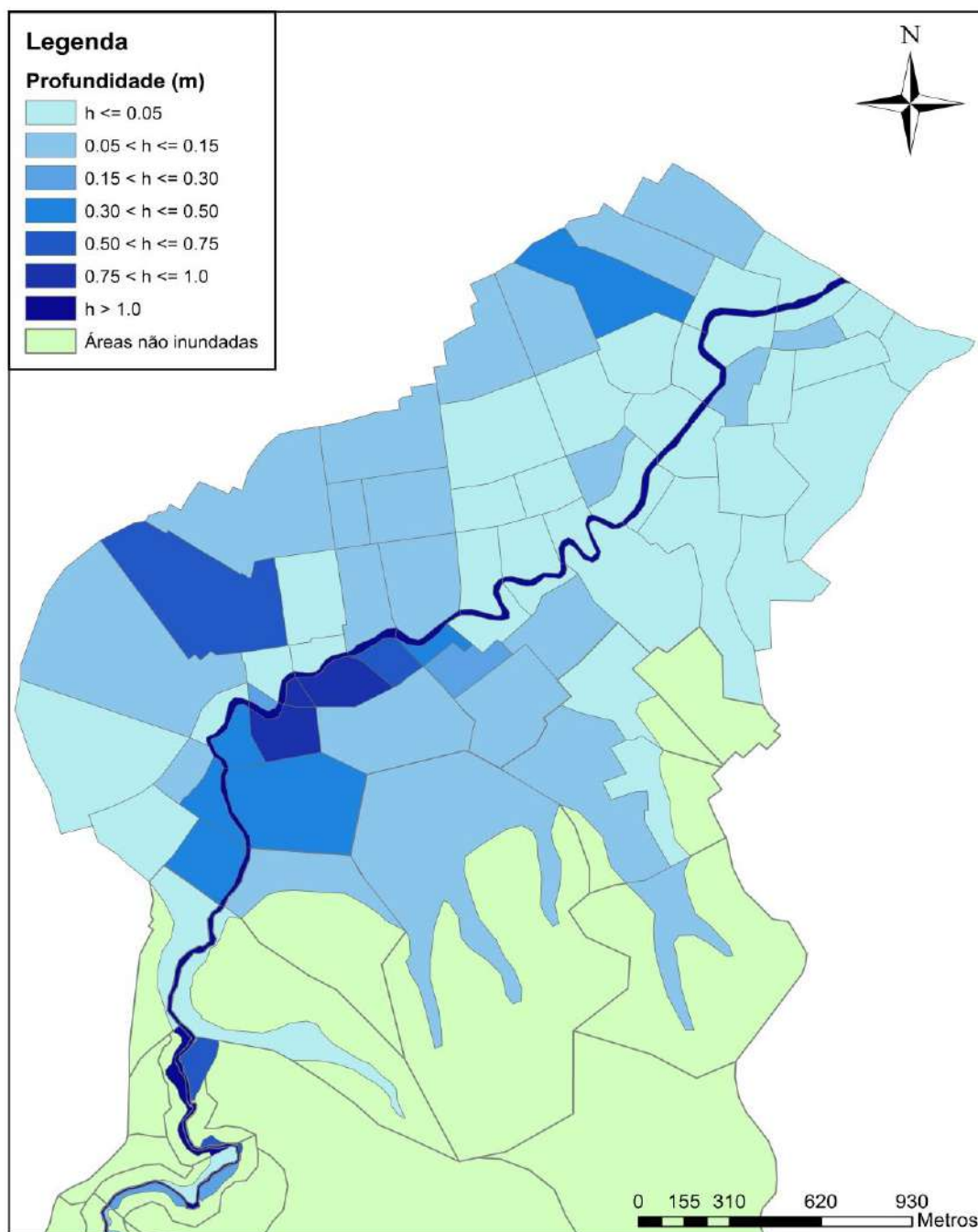


Figura 4.14 - Mapa de inundação da área urbana da bacia do Rio Sesmaria - requalificação fluvial, TR = 10 anos.  
Fonte: JACOB (2013)

Com a requalificação parcial da bacia, através do reflorestamento dos topos de morros e da faixa marginal de proteção há uma previsão da redução da vazão sólida, pois a vegetação marginal funciona como um filtro para os sedimentos e, com a proteção dos topos dos morros, há uma diminuição nos processos que podem causar erosão.

#### 4.5.5 Situação de alagamentos em Resende, caso seja reflorestada apenas a Faixa Marginal de Proteção

Neste cenário, a FMP foi demarcada e revegetada visando estabelecer um espaço mínimo destinado ao rio. A Figura 4.15 permite observar que o reflorestamento da FMP proporciona melhoras significativas em relação ao cenário atual, reduzindo as áreas alagadas e os níveis de água em várias células.

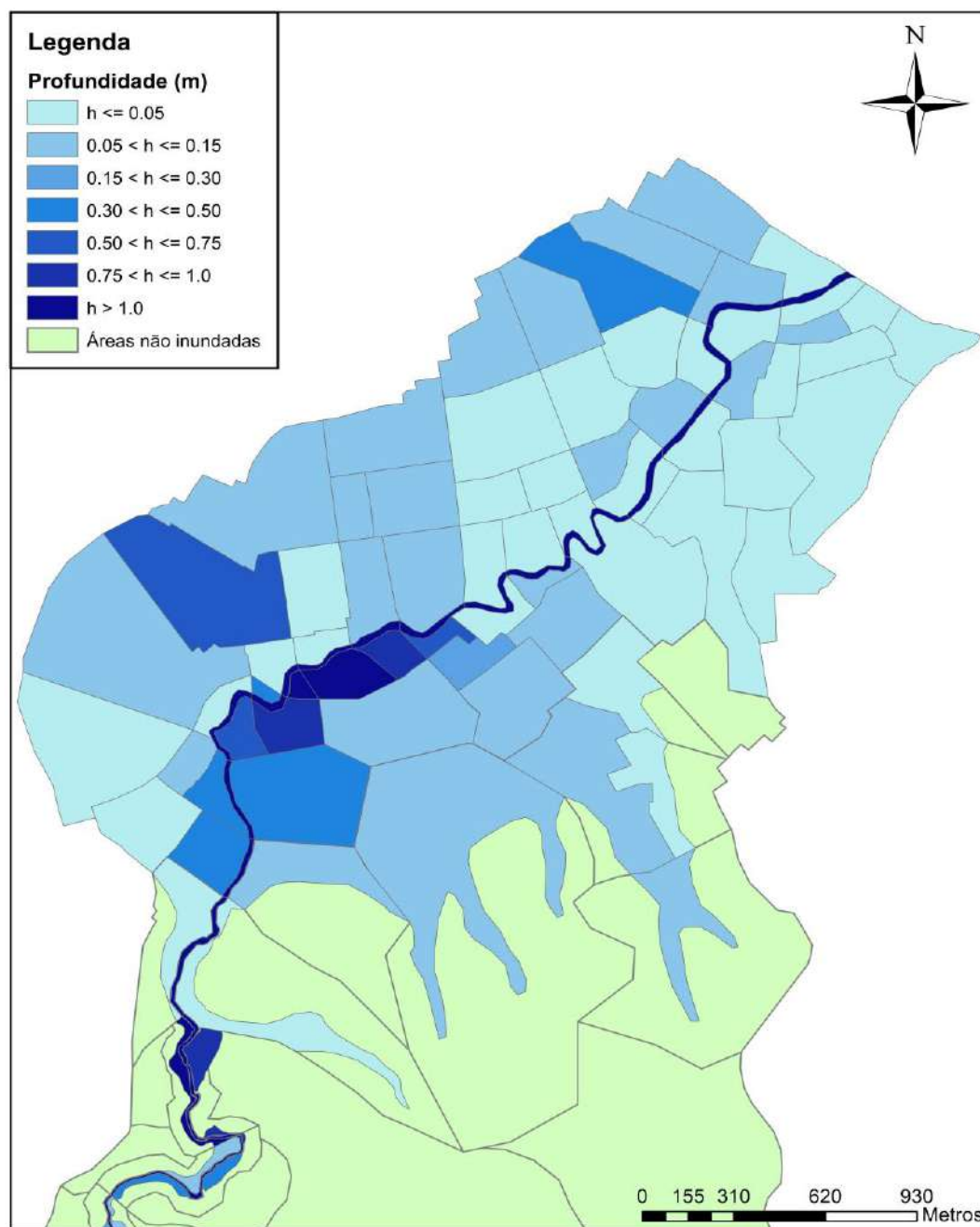


Figura 4.15 - Mapa de inundação da área urbana da bacia do Rio Sesmaria - reflorestamento da FMP, TR=10 anos  
Fonte: JACOB (2013)

A simulação dos cenários propostos resultou nas seguintes conclusões:

- No passado, com toda a bacia coberta por Mata Atlântica, as áreas inundadas eram menores e a vazão de pico também. No entanto, a exploração econômica de áreas rurais e o desenvolvimento urbano são importantes, mas devem ser feitos de forma planejada, para que o risco hidráulico não se amplifique ou que nem chegue a existir para eventos menores.
- Caso a parte rural da bacia tivesse se mantido preservada, o risco hidráulico seria muito menor em relação à situação atual, o que leva à conclusão de que o desmatamento de áreas para o plantio do café, sem preocupações conservacionistas, foi muito prejudicial para a bacia e foi uma das causas dos graves alagamentos na cidade de Resende, que causou enormes prejuízos para a população.
- O reflorestamento apenas da FMP proporciona reduções significativas dos níveis d'água e das áreas inundadas. No entanto, essa medida associada ao reflorestamento de topo de morro proporciona resultados ainda melhores.
- O início de uma requalificação fluvial do rio Sesmaria, com o intuito de reduzir o risco hidráulico, se mostrou eficaz através de medidas previstas no Código Florestal (BRASIL, 2012), como a revegetação de topos de morro e da Faixa Marginal de Proteção. A partir da implantação destas medidas, haverá uma redução considerável nos pontos de alagamento e do nível d'água na cidade de Resende.
- O cenário da situação atual é crítico. Os resultados mostraram alagamentos na cidade de Resende até para eventos de chuva menores, com tempo de recorrência de 2 anos.

JACOB (2013) destaca que foi possível avaliar, através dos cenários simulados, que a degradação da bacia tem grande contribuição no aumento do risco hidráulico associado ao Rio Sesmaria, principalmente na cidade de Resende, que é a que mais sofre com este processo sem precedentes.

Diante do estudo citado, faz-se necessária a discussão de uma política de Pagamento por Serviços Ambientais na Bacia do Rio Sesmaria, de forma que se promova uma integração entre aspectos sociais, econômicos e ambientais, respeitando o ecossistema e promovendo a sua recuperação como suporte à reprodução dos recursos naturais. Na situação atual deve-se buscar o envolvimento do usuário do solo em espaços geográficos específicos, assim como a conscientização dos beneficiários dos serviços ambientais de que estes bens estarão cada vez mais escassos em consequência das ações antrópicas que impedem que esses benefícios continuem sendo uma dádiva da natureza. O PSA pode ser a alavanca que impulsiona o processo de recuperação ambiental da bacia.

## 5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Através da aplicação da metodologia apresentada, avaliar-se-á a viabilidade econômica do projeto de implantação de PSA para controle das enchentes na bacia do Rio Sesmaria comparando com dois cenários:

- O cenário atual que apresenta urbanização desordenada que ocupa as margens do rio, além de intervenções com obras de infraestrutura realizadas pela Prefeitura Municipal para minimizar os danos causados pelas enchentes.
- O cenário resultante do estudo apresentado por JACOB (2013) para a Bacia do Rio Sesmaria, através de modelagem matemática, com a revegetação de topos de morros e mata ciliar na área rural da bacia.

Para a avaliação de danos considerou-se neste trabalho três premissas básicas, como indicadas abaixo:

- A primeira refere-se à altura das lâminas d'água: JACOB (2013) aponta que para as alturas de inundação de 0 a 0,15m, as águas ficariam concentradas nas ruas e que para uma altura maior que 0,15m as calçadas ficariam submersas e as águas chegariam nas soleiras das construções.
- A segunda seria sobre o prejuízo causado às construções e conteúdos de acordo com a altura da lâmina d'água. SALGADO (1995) considera necessária a limpeza e desinfecção dos reservatórios de todas as edificações inundadas com altura de 0,20m, e respectivos danos de acordo com a altura da lâmina d'água. A partir da altura de 0,25m considerar-se-á os prejuízos ao conteúdo que também serão contabilizados conforme a altura da lâmina d'água.
- A terceira premissa refere-se à caracterização da urbanização em que se considera o percentual médio da área total relativo à área construída. Segundo a padronização de urbanização utilizada por JACOB (2013), proposta por Miguez (2001) para a bacia do Canal do Mangue, identificou-se também que na área de estudo, as edificações correspondem a 60% da área total em uma bacia urbanizada e que 10% são ruas e 30% são calçadas, parques e jardins na bacia do Rio Sesmaria.

Para aplicação da metodologia sugerida, utilizou-se a mancha de inundação da área urbana da bacia do Rio Sesmaria apresentada por JACOB (2013), para o evento ocorrido em dezembro de 2010 para um TR de 10 anos (Figura 5.1).

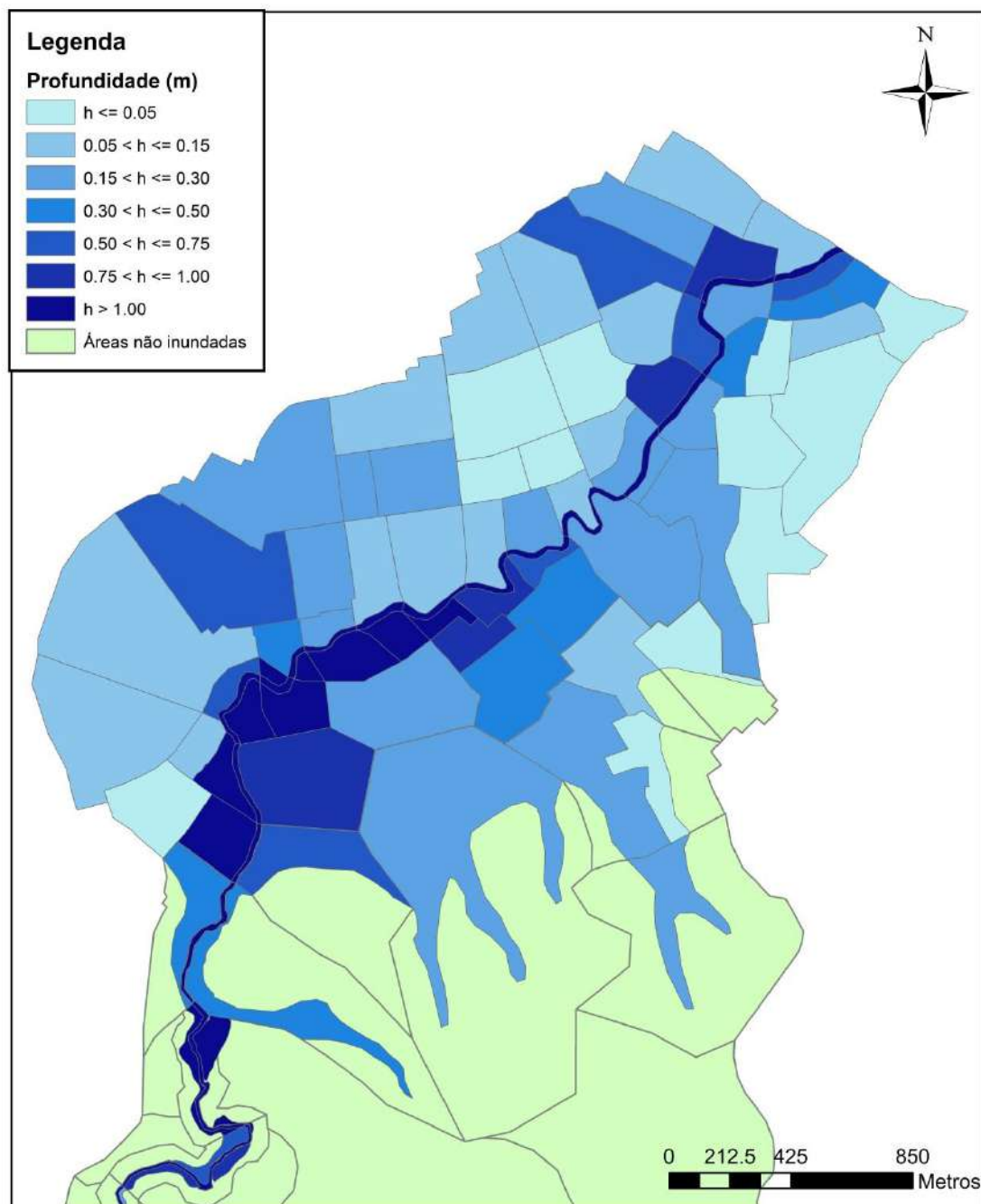


Figura 5.1 – Mapa de Inundação da área urbana na Bacia do Rio Sesmaria para o evento ocorrido em dezembro de 2010 para um TR= 10 anos.

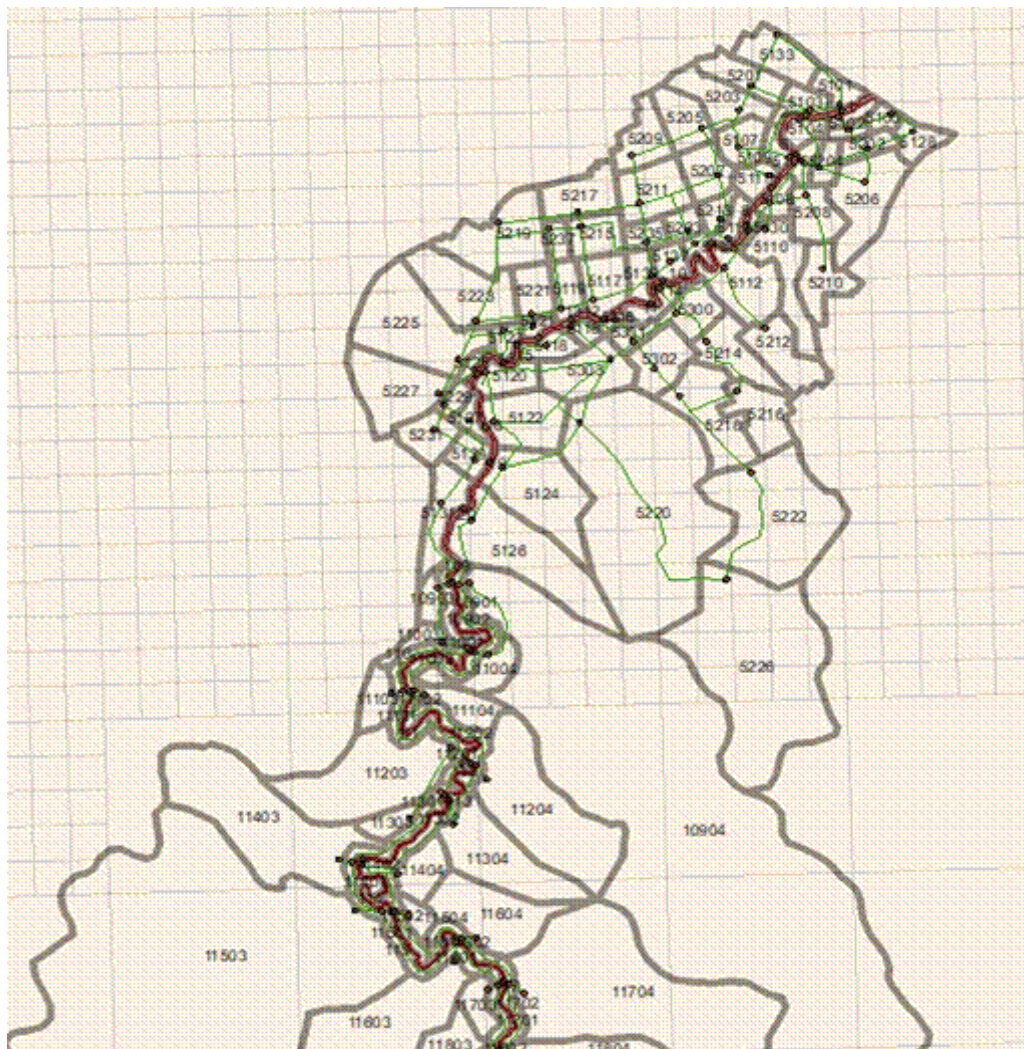
Fonte: JACOB (2013)



JACOB (2013) descreve que:

Foi feita uma pesquisa nos principais sítios eletrônicos de notícias da região Sul Fluminense sobre os níveis d'água atingidos nos bairros inundados e durante algumas visitas de campo foram medidas marcas nos muros das casas e coletadas informações com moradores. Esses níveis foram comparados com os resultados de nível d'água obtidos através da modelagem e foram feitos ajustes no coeficiente de vertimento e em ligações entre células utilizando o MODCEL. Não foi possível obter o nível d'água em todos os bairros alagados, e, portanto, outra forma de validar o modelo, foi verificar se os bairros alagados, na realidade, também foram alagados no modelo hidrodinâmico. Pôde-se observar grande semelhança entre os valores de nível d'água e na extensão das áreas de alagamento.

Para o cálculo dos danos referentes ao evento ocorrido em dezembro de 2010 realizou-se a interseção da malha de células do MODCEL (Figura 5.2).



Utilizando a malha de células, fez-se uma sobreposição sobre o mapa da área obtido com o auxílio do *Google Maps* (Figura 5.3), bem como o mapa da inundação disponibilizado pela Defesa Civil do município, referente ao evento em análise (Figura 5.4).



Figura 5.3 – Sobreposição da malha de células sobre a imagem da bacia do Rio Sesmaria através do Google Maps.

Fonte: GOOGLE MAPS (2016)







## 5.1 Dados sócio econômicos

Segundo os dados do IBGE, o município de Resende tem uma área territorial de 1.094,784 km<sup>2</sup> e uma população residente, de acordo com o censo 2010, de 119.769 habitantes e IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de 0,768. A população estimada para o ano de 2016 foi de 126.084. Ressalta-se que 96,5% da população residem na zona urbana, segundo os dados do censo (IBGE, 2010).

Para avaliar os prejuízos às residências provocados por enchentes se estimaram as perdas relacionadas aos conteúdos, para a classe social da área atingida, que foi obtida através do censo do IBGE (2010). Segundo SALGADO (1995) para valorar o prejuízo às edificações deve-se considerar o tipo de construção, a área construída, o número de pavimentos, a qualidade da construção e deve-se corrigir por um fator de depreciação física, em função da vida útil, do tempo de uso e do estado de conservação. Deve-se avaliar também o conteúdo dos domicílios.

Através de levantamento de dados, pôde-se constatar que a área atingida pela enchente é composta por residências da classe média e média baixa nos bairros Jardim Primavera I, II e III, Toyota I e II, Jardim Beira Rio e Jardim Alegria. A região periférica, chamada de Cidade Alegria, em direção a oeste, possui moradias populares, assim como condomínios de alto padrão. Assim sendo, optou-se, para a avaliação de danos, pela adoção de uma edificação de padrão médio, residencial, unifamiliar de um pavimento seguindo o estudo apresentado por SALGADO (1995) e residência unifamiliar popular como indicado no AVADAN.

Para identificar as características do imóvel padrão determinado para o cálculo, seguiu-se a Norma Técnica Brasileira, NBR 12721/2005, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABNT, 2005), que estabelece critérios para o cálculo de Custos Unitários Básicos (CUB) da construção. Os valores do CUB em R\$/m<sup>2</sup> são divulgados mensalmente, em todo o país, pelo Sindicato da Construção Civil, para os diferentes padrões de projeto definidos pela Norma. Os valores do CUB para o cálculo dos danos devem ser depreciados em 50% (cinquenta por cento), segundo SALGADO (1995), para cálculo dos prejuízos provocados pelas enchentes. Nota-se que neste caso, calcula-se efetivamente o valor que foi perdido, mas não o seu custo de reposição.

De acordo com as características da residência unifamiliar, conforme a NBR 12721/2005, se identificou o imóvel com o seguinte padrão para a área de estudo: Residência Padrão Normal R1-N contendo uma sala, três quartos (uma suíte), banheiro, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda/abrigo com uma área real de 106,44 m<sup>2</sup>. Entretanto, a área equivalente é de 99,47 m<sup>2</sup>. Os dados do AVADAN informam ainda, que do total de 195 casas afetadas no evento estudado, 25 dessas casas eram de padrão popular, das quais, 05 foram destruídas. Para esses imóveis se identificou o seguinte padrão: Residência Unifamiliar Popular - RP1Q, contendo um pavimento com 01 dormitório, sala, banheiro e cozinha e com uma área de 39,56m<sup>2</sup>, que é considerada na sua totalidade para auferir o prejuízo.

SALGADO (1995) apresenta índices chamados de Porcentagem Média da Edificação Danificada (PED), que variam de acordo com a altura da inundação e com o padrão do imóvel, que serão utilizados para cálculo dos prejuízos referentes às edificações. A Tabela 5.1 apresenta os índices para os padrões dos imóveis citados acima e respectivas alturas das lâminas d'água.

Tabela 5.1 - PED para os imóveis - padrão médio e baixo

Padrão dos Imóveis	Altura da Lâmina d'água (m)									
	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00
R1-N	0.058	0.130	0.138	0.145	0.162	0.170	0.180	0.188	0.203	0.231
RP1Q	0.037	0.134	0.139	0.143	0.163	0.167	0.176	0.180	0.188	0.221

Fonte: SALGADO (1995)

Para o cálculo dos prejuízos causados pela enchente, se utilizou as equações do estudo de NAGEM (2008), para cálculo dos prejuízos causados nas edificações (Equação 5.1) e ao conteúdo do imóvel (Equação 5.2), associadas ao estudo já referenciado de SALGADO (1995).

(5.1)

$$CRE = [(0,50 \times CUB) \times PED] \times AIC$$

Onde se lê:

CUB = Custo unitário básico da construção

PED = Porcentagem da edificação danificada

AIC = Área inundada construída

Para avaliação dos prejuízos às edificações, se utilizou do valor do CUB de dezembro de 2010, depreciado em 50%, como já referido anteriormente, referente à área

equivalente ao imóvel e seu respectivo padrão. No entanto, para os imóveis destruídos pelo evento avaliado, considerou-se o valor total do CUB. O índice referente ao PED foi aplicado para cada célula, de acordo com a altura da lâmina d'água, como apresentado na Tabela 5.1. Para cálculo da Área Inundada Construída (AIC) utilizou-se o número de casas atingidas, de acordo com a altura da lâmina d'água apresentada pelos mapas de inundação para diferentes eventos, e multiplicou-se pela área equivalente construída para os diferentes padrões, ou seja, para o padrão R1-N a área equivalente construída é igual a 99,47m<sup>2</sup> e para o padrão RP1Q é de 39,56m<sup>2</sup>.

Através da utilização da Equação 5.2, pôde-se auferir o prejuízo causado pelas diferentes alturas da lâmina d'água para o conteúdo dos imóveis e o cálculo do prejuízo para os diferentes tempos de recorrência utilizados nesse estudo.

(5.2)

$$CRC = \left[ \left( \frac{0,50 \times CCIP}{AIP} \right) \times FM \right] \times AIC$$

Onde se lê:

CCIP = Custo dos conteúdos do imóvel padrão

AIP = Área do imóvel padrão

FM = Fator multiplicador

AIC = Área inundada construída

Para o cálculo do prejuízo referente ao conteúdo de cada imóvel, considerou-se o somatório do valor de cada item de um imóvel padrão baseado em SALGADO (1995). A cotação de cada item novo foi realizada pelo menor preço, com valores no mercado para o ano de 2010, para pagamento a vista, e depreciado em 50% (cinquenta por cento) pelo valor de uso. Os valores dos itens foram calculados de acordo com o dano causado pela altura da lâmina d'água, baseado nas manchas de inundação, e na relação de itens apresentadas por SALGADO (1995) (Anexo VI).

Sustenta essa teoria o conceito de valor residual - *Average Remaining Value* (ARV) e assume-se o valor do item usado igual a metade do item novo semelhante (MESSNER *et al.*, 2007; PENNING-ROSWELL, 1977; SMITH, 1994). Sendo assim, deprecia-se cada item em 50% (cinquenta por cento) do seu valor original. Entretanto, NAGEM (2008) recomenda a majoração do valor final de cada item em 15% (quinze por cento), de forma que o valor compense a perda de itens não listados no orçamento, tais como: roupas, alimentos, utensílios, objetos de decoração, entre outros. NAGEM

(2008) ressalta que os dados orçados devem ser adequados às demais classes econômicas e para isso utiliza-se o fator multiplicador baseado na pontuação adotada pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP) e que cabe ao projetista decidir se os itens orçados caracterizam melhor uma classe social ou outra, e aplicar os índices adequados. Entretanto, no trabalho aqui apresentado, utilizou-se o fator multiplicador igual a 1(um) por se tratar de imóveis distintos em tamanho e a aferição do conteúdo foi realizada conforme a classificação do padrão e todos os itens orçados pelo menor valor de mercado. Sendo assim, calculou-se para as diferentes alturas da lâmina d'água e respectivos padrões das residências, os valores referentes ao prejuízo do conteúdo dos imóveis atingidos.

Com a finalidade de esclarecer os cálculos realizados para mensurar os prejuízos, enumera-se abaixo algumas observações sobre os dados utilizados para calcular as fórmulas acima apresentadas e assim, auferir o prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências, alcançando o valor próximo aquele apresentado no AVADAN transcritos na Tabela 5.2.

- 1) Considerando o padrão de urbanização existente se aferiu os prejuízos para uma altura da lâmina d'água a partir de 0.20m devido à necessidade de limpeza e desinfecção de reservatórios. Para esses imóveis, cuja lâmina d'água atingiu uma altura de 0.20m até 0.25m utilizou-se o valor do CUB e o tamanho da área correspondente ao imóvel padrão RP1Q e o índice PED igual a 0,037. Nessas células não se considerou dano ao conteúdo.
- 2) Para as casas destruídas, conforme dados do AVADAN, os prejuízos foram calculados para imóveis correspondentes ao padrão RP1Q. Nesses casos, desconsiderou-se a depreciação da edificação, assim como a depreciação do conteúdo.
- 3) A partir da altura da lâmina d'água com 0.25m, se aferiu os danos de acordo com o padrão do imóvel e o conteúdo danificado variou de acordo com a altura da lâmina d'água.

Tabela 5.2 – Avaliação de Danos – Defesa Civil – AVADAN

Chuva de 14/12/2010	
Número de pessoas que sofreram danos = 55.000	
DANOS	VALOR
Danos materiais residências populares	R\$428.000,00
Danos materiais residências outras	R\$1.256.000,00
Obras de arte	R\$1.490.000,00
Estradas	R\$1.255.000,00
Pavimentação	R\$874.000,00
Outras	R\$980.000,00
Comunitárias	R\$76.000,00
Esgoto Sanitário	R\$60.000,00
Drenagem	R\$1.500.000,00
Erosão	R\$185.000,00
Deslizamento	R\$53.000,00
Assoreamento	R\$550.000,00
Agricultura	R\$12.000,00
Comércio	R\$890.000,00
Rede distribuição de água	R\$250.000,00
Consumidor sem energia	R\$360.000,00
Vias de transporte	R\$190.000,00
Rede de comunicação	R\$30.000,00
Distribuição de gás	R\$65.000,00
Coleta de lixo	R\$120.000,00
TOTAL	R\$10.624.000,00

Fonte: Defesa Civil do Município de Resende – RJ.

Para validação do modelo apresentado neste trabalho, utilizar-se-á no primeiro momento, os valores correspondentes aos danos materiais às residências populares e outras, como discriminadas acima que totalizam o valor de R\$1.684.000,00 (Um milhão e seiscentos e oitenta e quatro mil reais).

Tabela 5.3 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências - AVADAN

AVADAN					Prejuízos	
Célula	Inundação	PED	Atividade das Casas	Construção	Edificação	Conteúdo
5102	0,46	0,058	21	2088,87	R\$ 66.863,93	R\$ 34.125,00
5106	0,20	0,037	39	1542,84	R\$ 27.072,60	R\$ 0,00
5109	0,50	0,130	23	2287,81	R\$ 164.140,53	R\$ 110.824,35
5124	0,31	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5125	0,40	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5103	0,58	0,130	38	3779,86	R\$ 271.188,70	R\$ 183.101,10
5111	0,67	0,130	29	2884,63	R\$ 206.959,80	R\$ 139.735,05
5114	0,52	0,130	2	198,94	R\$ 14.273,09	R\$ 9.636,90
5120	0,91	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5122	0,81	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5127	0,84	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5129	0,90	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5118	1,48	0,162	4	397,88	R\$ 35.572,93	R\$ 35.581,00
5118	1,48	0,163	20	791,20	R\$ 61.161,94	R\$ 46.826,00
5116	1,16	0,145	14	1392,58	R\$ 111.439,89	R\$ 124.533,50
<b>Total casas afetadas</b>			<b>190</b>			
<b>Casas destruídas</b>			<b>5</b>	<b>197,80</b>	<b>R\$ 30.580,65</b>	<b>R\$ 18.010,00</b>
					<b>R\$ 989.254,06</b>	<b>R\$ 702.372,90</b>
<div>Residência Unifamiliar Popular</div> <div>Residência Unifamiliar Popular Destruidas</div> <div>altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 75 cm e menor ou igual a 100 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 100 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 150 cm.</div>						
<b>TOTAL DE PREJUÍZOS</b>						<b>R\$ 1.691.626,96</b>

Através da Tabela 5.3 pode-se observar que os valores calculados se aproximaram do valor apresentado no AVADAN para os danos às residências, corroborando a teoria apresentada.

Sendo assim, calculou-se um fator multiplicador para auferir o prejuízo total no cálculo para os diferentes tempos de recorrência (Equação 5.3).

(5.3)

Fator Multiplicador = Total do dano/ Danos materiais às residências populares e outras

Fator Multiplicador = 10.624.000/1.684.000

Fator Multiplicador = 6,309

Considerando que o evento de 14 de dezembro de 2010 tem a probabilidade de ocorrer a cada 10 anos, ou seja, TR=10, calculou-se o prejuízo para edificações e conteúdos utilizando a mancha de inundação apresentada por JACOB (2013) para o mesmo TR, que apresenta áreas alagadas que vão além da margem do rio, ultrapassando a área apresentada pela mancha de inundação do AVADAN. Na Tabela 5.4 apresenta-se o cálculo dos danos às edificações e conteúdos utilizando a mesma metodologia já apresentada e a aplicação do fator multiplicador para o cálculo do valor total do prejuízo para o TR de 10 anos.

Da mesma forma, em seguida, apresentar-se-ão as planilhas para os TR2, TR5, TR25, TR50 (Tabela 5.5, Tabela 5.6, Tabela 5.7, Tabela 5.8).

Tabela 5.4 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências - TR10

TR10					Prejuízos	
Célula	Indicador	PED	Categorias	Construção	Edificação	Conteúdo
5100	0,21	0,037	4	158,24	R\$ 2.776,68	R\$ 0,00
5102	0,46	0,058	21	2088,87	R\$ 66.863,93	R\$ 34.125,00
5106	0,20	0,037	39	1542,84	R\$ 27.072,60	R\$ 0,00
5109	0,50	0,130	23	2287,81	R\$ 164.140,53	R\$ 110.824,35
5124	0,31	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5125	0,40	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5126	0,27	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5200	0,28	0,058	16	1591,52	R\$ 50.943,95	R\$ 26.000,00
5222	0,20	0,037	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5203	0,45	0,058	26	2586,22	R\$ 82.783,92	R\$ 42.250,00
5300	0,20	0,037	51	2017,56	R\$ 35.402,63	R\$ 0,00
5301	0,46	0,058	29	2884,63	R\$ 92.335,91	R\$ 47.125,00
5103	0,58	0,130	38	3779,86	R\$ 271.188,70	R\$ 183.101,10
5111	0,67	0,130	29	2884,63	R\$ 206.959,80	R\$ 139.735,05
5114	0,52	0,130	2	198,94	R\$ 14.273,09	R\$ 9.636,90
5223	0,70	0,130	176	17506,72	R\$ 1.256.031,88	R\$ 848.047,20
5120	0,91	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5122	0,81	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5127	0,84	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5129	0,90	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5118	1,48	0,162	4	397,88	R\$ 35.572,93	R\$ 35.581,00
5118	1,48	0,163	20	791,20	R\$ 61.161,94	R\$ 46.826,00
5116	1,16	0,145	14	1392,58	R\$ 111.439,89	R\$ 124.533,50
5308	1,6	0,17	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
<b>Total casas afetadas</b>			<b>488</b>			
<b>Casas destruídas</b>		0,163	<b>5</b>	197,80	R\$ 30.580,65	R\$ 18.010,00
					<b>R\$ 2.509.529,03</b>	<b>R\$ 1.665.795,10</b>
	Residência Unifamiliar Popular					
	Residência Unifamiliar Popular Destruidas					
	altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.					
	altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.					
	altura da lâmina d'água maior que 75 cm e menor ou igual a 100 cm.					
	altura da lâmina d'água maior que 100 cm.					
	altura da lâmina d'água maior que 150 cm.					
<b>Prejuízo às residências TR 10</b>					<b>R\$ 4.175.324,13</b>	
<b>PREJUÍZO TOTAL</b>					<b>R\$ 26.342.119,91</b>	



Tabela 5.5 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências - TR2

TR2					Prejuízos	
C é l u l a	I n u n d a ç ã o	P E D	a t i v i d a d e	c o n s t r u í d o	E d i f i c a ç ã o	C o n t e ú d o
5122	0,47	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5127	0,49	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5203	0,41	0,058	26	2586,22	R\$ 82.783,92	R\$ 42.250,00
5301	0,22	0,037	29	1147,24	R\$ 20.130,91	0
5116	0,61	0,130	14	1392,58	R\$ 99.911,63	R\$ 67.458,30
5120	0,58	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5129	0,52	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5223	0,65	0,130	176	17506,72	R\$ 1.256.031,88	R\$ 848.047,20
5118	0,95	0,138	4	397,88	R\$ 30.302,87	R\$ 25.487,80
5118	0,95	0,139	25	989,00	R\$ 65.195,62	R\$ 58.532,50
5308	1,11	0,145	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
<b>Total casas afetadas 274</b>					<b>R\$ 1.554.356,82</b>	<b>R\$ 1.041.775,80</b>
<div>Residência Unifamiliar Popular</div> <div>altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 75 cm e menor ou igual a 100 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 100 cm.</div>						
<b>Prejuízo às residências TR 2</b>					<b>R\$ 2.596.132,62</b>	
<b>TOTAL DOS PREJUÍZOS</b>					<b>R\$ 16.379.000,72</b>	

Tabela 5.6 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências - TR5

TR5					Prejuízos	
Célula	Indicação	PED	Atividades	Construção	Edificação	Conteúdo
5102	0,30	0,058	21	2088,87	R\$ 66.863,93	R\$ 34.125,00
5103	0,41	0,058	38	3779,86	R\$ 120.991,88	R\$ 61.750,00
5109	0,33	0,058	23	2287,81	R\$ 73.231,93	R\$ 37.375,00
5111	0,47	0,058	29	2884,63	R\$ 92.335,91	R\$ 47.125,00
5114	0,28	0,058	2	198,94	R\$ 6.367,99	R\$ 3.250,00
5125	0,26	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5203	0,43	0,058	26	2586,22	R\$ 82.783,92	R\$ 42.250,00
5301	0,30	0,058	29	2884,63	R\$ 92.335,91	R\$ 47.125,00
5122	0,67	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5223	0,68	0,130	176	17506,72	R\$ 1.256.031,88	R\$ 848.047,20
5127	0,69	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5116	0,95	0,138	14	1392,58	R\$ 106.060,03	R\$ 89.207,30
5120	0,77	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5129	0,75	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5118	1,26	0,162	4	397,88	R\$ 35.572,93	R\$ 35.581,00
5118	1,26	0,163	25	989,00	R\$ 76.452,42	R\$ 58.532,50
5308	1,40	0,162	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Total casas afetadas			387			
					R\$ 2.009.028,75	R\$ 1.304.368,00
Residência Unifamiliar Popular						
altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 75 cm e menor ou igual a 100 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 100 cm.						
Prejuízo às residências TR5					R\$ 3.313.396,75	
TOTAL DOS PREJUÍZOS					R\$ 20.904.220,07	

Tabela 5.7 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências - TR25

TR25					Prejuízos	
Célula	inundação	PED	atrasadas	construída	Edificação	Conteúdo
5100	0,32	0,058	4	397,88	R\$ 12.735,99	R\$ 6.500,00
5106	0,38	0,058	39	3879,33	R\$ 124.175,88	R\$ 63.375,00
5121	0,22	0,037	38	1503,28	R\$ 26.378,43	R\$ 0,00
5123	0,29	0,058	23	2287,81	R\$ 73.231,93	R\$ 37.375,00
5124	0,48	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5126	0,44	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5131	0,34	0,058	11	1094,17	R\$ 35.023,97	R\$ 17.875,00
5200	0,39	0,058	16	1591,52	R\$ 50.943,95	R\$ 26.000,00
5203	0,50	0,130	26	2586,22	R\$ 185.550,16	R\$ 42.250,00
5218	0,20	0,037	17	672,52	R\$ 11.800,88	R\$ 0,00
5220	0,23	0,037	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5222	0,22	0,037	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5300	0,37	0,058	51	5072,97	R\$ 162.383,84	R\$ 82.875,00
5303	0,23	0,037	28	2785,16	R\$ 48.871,90	R\$ 0,00
5102	0,61	0,130	21	2088,87	R\$ 149.867,44	R\$ 101.187,45
5103	0,75	0,138	38	3779,86	R\$ 287.877,24	R\$ 183.101,10
5109	0,68	0,130	23	2287,81	R\$ 164.140,53	R\$ 110.824,35
5114	0,74	0,130	2	198,94	R\$ 14.273,09	R\$ 9.636,90
5125	0,55	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5223	0,72	0,130	176	17506,72	R\$ 1.256.031,88	R\$ 848.047,20
5301	0,66	0,130	29	2884,63	R\$ 206.959,80	R\$ 139.735,05
5111	0,87	0,138	29	2884,63	R\$ 219.695,79	R\$ 184.786,55
5122	0,97	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5127	1,00	0,145	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5116	1,37	0,162	14	1392,58	R\$ 124.505,26	R\$ 124.533,50
5120	1,06	0,137	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5129	1,07	0,137	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5118	1,69	0,163	20	791,20	R\$ 61.161,94	R\$ 46.826,00
5118	1,69	0,18	4	397,88	R\$ 39.525,48	R\$ 36.855,00
5308	1,81	0,18	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Total de casa afetadas			609			
Casas destruídas		0,163	5	197,80	R\$ 30.580,65	R\$ 18.010,00
					R\$ 3.285.716,00	R\$ 2.079.793,10
Casas destruídas						
Residência Unifamiliar Popular						
altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 75 cm e menor ou igual a 100 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 100 cm e menor ou igual a 150cm.						
altura da lâmina d'água maior que 150 cm.						
Prejuízo às residências TR25						R\$ 5.365.509,10
TOTAL DOS PREJUÍZOS						R\$ 33.850.996,94

Tabela 5.8 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências - TR50

TR50					Prejuízos	
Célula	Indicação	PED	Categorias	Construção	Edificação	Conteúdo
5100	0,41	0,058	4	397,88	R\$ 12.735,99	R\$ 6.500,00
5113	0,35	0,058	2	198,94	R\$ 6.367,99	R\$ 3.250,00
5121	0,40	0,058	38	3779,86	R\$ 120.991,88	R\$ 61.750,00
5123	0,47	0,058	23	2287,81	R\$ 73.231,93	R\$ 37.375,00
5135	0,21	0,037	7	276,92	R\$ 4.859,18	R\$ 0,00
5137	0,32	0,058	16	1591,52	R\$ 50.943,95	R\$ 26.000,00
5200	0,50	0,13	16	1591,52	R\$ 114.184,72	R\$ 26.000,00
5201	0,26	0,058	28	2785,16	R\$ 89.151,91	R\$ 45.500,00
5218	0,22	0,037	17	672,52	R\$ 11.800,88	R\$ 0,00
5220	0,29	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5222	0,24	0,037	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5303	0,30	0,058	28	2785,16	R\$ 89.151,91	R\$ 45.500,00
5102	0,74	0,130	21	2088,87	R\$ 149.867,44	R\$ 101.187,45
5106	0,54	0,130	39	3879,33	R\$ 278.325,25	R\$ 187.919,55
5124	0,63	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5125	0,69	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5126	0,61	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5131	0,51	0,130	11	1094,17	R\$ 78.501,99	R\$ 53.002,95
5203	0,56	0,130	26	2586,22	R\$ 185.550,16	R\$ 125.279,70
5223	0,74	0,130	176	17506,72	R\$ 1.256.031,88	R\$ 848.047,20
5300	0,54	0,130	51	5072,97	R\$ 363.963,78	R\$ 245.740,95
5103	0,90	0,138	38	3779,86	R\$ 287.877,24	R\$ 242.134,10
5109	0,85	0,138	23	2287,81	R\$ 174.241,49	R\$ 146.554,85
5114	0,91	0,138	2	198,94	R\$ 15.151,43	R\$ 12.743,90
5301	0,83	0,138	29	2884,63	R\$ 219.695,79	R\$ 184.786,55
5111	1,04	0,145	29	2884,63	R\$ 230.839,78	R\$ 257.962,25
5129	1,22	0,145	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5120	1,20	0,145	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5122	1,11	0,145	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5127	1,14	0,145	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5308	2,00	0,188	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5118	1,88	0,176	20	791,20	R\$ 66.039,88	R\$ 46.826,00
5118	1,88	0,180	4	397,88	R\$ 39.525,48	R\$ 36.855,00
5116	1,54	0,170	14	1392,58	R\$ 130.653,67	R\$ 128.992,50
Total de casa afetadas			662			
Casas destruídas		0,176	5	197,80	R\$ 33.019,59	R\$ 18.010,00
					R\$ 4.082.705,19	R\$ 2.887.917,95
Casas destruídas						
Residência Unifamiliar Popular						
altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 75 cm e menor ou igual a 100 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 100 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 150 cm.						
Prejuízo às residências TR25					R\$ 6.970.623,14	
TOTAL DOS PREJUÍZOS					R\$ 43.977.661,40	

Com base nas planilhas apresentadas, elaborou-se o gráfico abaixo (Figura 5.5) que permite uma melhor visualização do prejuízo para os diferentes tempos e recorrência.

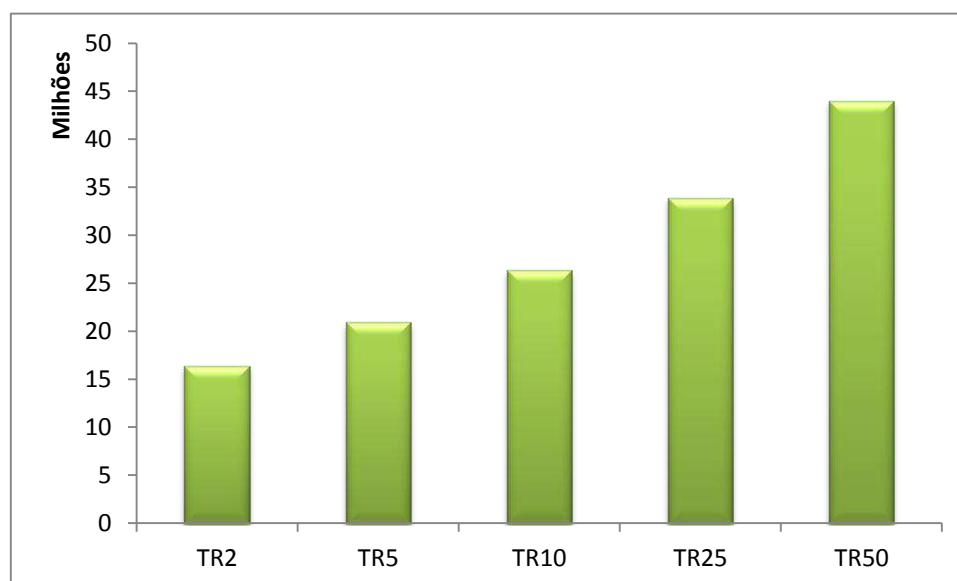


Figura 5.5 - Gráfico do Prejuízo do evento de 14/12/2010 para diferentes TRs.

## 5.2 Requalificação fluvial para controle de enchentes

O estudo apresentado por JACOB (2013) recomenda o reflorestamento de topos de morros e matas ciliares para controle das inundações. DE GROOT *et al.* (2010) afirma que as florestas fornecem mitigação de riscos naturais e serviços de regulação da água reduzindo o perigo de inundação, evitando danos às infraestruturas e influenciando as capacidades de retenção de água. MIGUEZ *et al.* (2015a) afirma que a requalificação fluvial pode prover importante auxílio para o controle de cheias. A Figura 5.6 apresenta os mapas de inundação para um evento com TR de 10 anos, em um cenário simulado com requalificação fluvial e o mapa do evento para o mesmo TR nas condições atuais da bacia. Nessa Figura é possível observar a diminuição das manchas de alagamento, bem como a altura da lâmina d'água, ao se comparar o mapa do evento para o mesmo TR nas condições atuais da bacia.

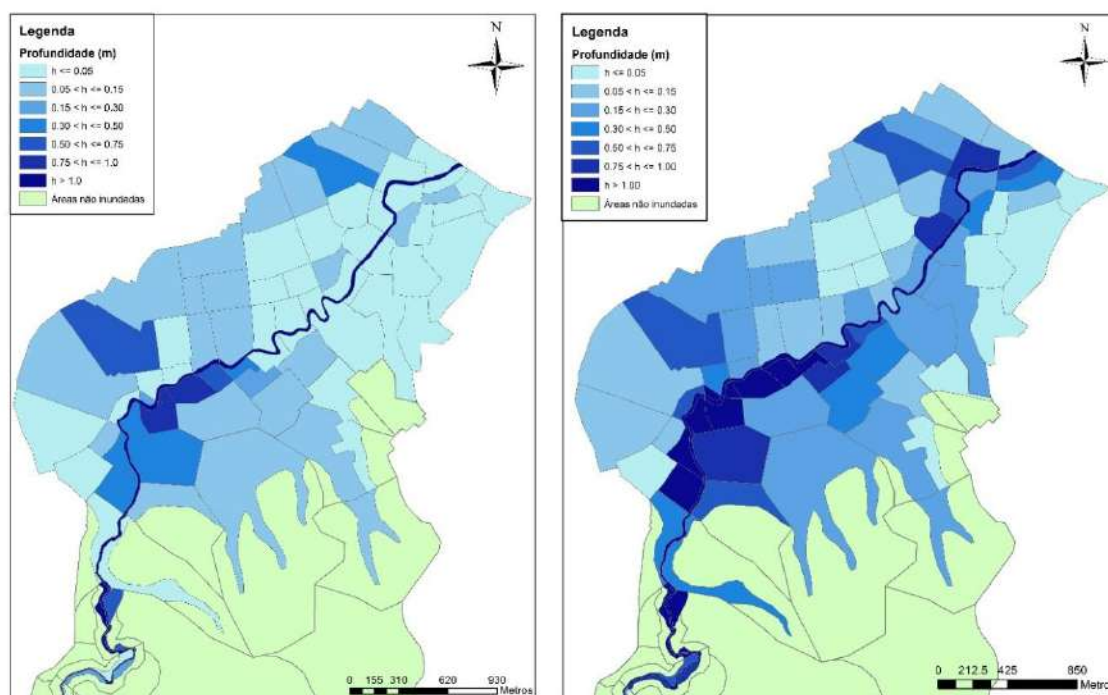


Figura 5.6 - Mapas de inundação para um evento com TR de 10 anos, em um cenário simulado com requalificação fluvial e o mapa do evento para o mesmo TR nas condições atuais da bacia  
Fonte: JACOB (2013)

MIGUEZ *et al.* (2015b) destaca a importância de se considerar aspectos relacionados ao conceito de restauração de rio em um projeto de controle de inundações, mesmo que parcial, diante das várias restrições existentes nas áreas urbanas. NARDINI & PAVAN (2012) abordam a possibilidade de reconstruir algumas seções de um rio, eliminando a infraestrutura tradicional de defesa contra inundações, permite recuperar a capacidade de rolamento natural (em áreas rurais) em favor de outras partes do território, como as áreas urbanizadas. Estas, por sua vez, afetam claramente a função hidrológica e o desempenho dos serviços ecossistêmicos em corpos d'água (BAPTISTA *et al.* (2017).

NEDKOV & BURKHARD (2012) afirmam que os ecossistemas afetam o balanço hídrico, principalmente através do processo de interceptação que depende da cobertura do solo, ou do processo de infiltração, que é determinado pelas propriedades do solo. Os autores ainda acrescentam que o escoamento superficial, que é o principal fator para a formação de inundações, também depende de fatores abióticos, como rochas e topografia. Ou ainda, adicionando outro nível de complexidade para o problema, como MAGNUSZEWSKI *et al.* (2015) *apud* FILOSO (2017) refere-se à pressão agrícola na escala da paisagem.

Na sequência, são apresentadas as planilhas de cálculo dos prejuízos para os TR2, TR5, TR10, TR25 e TR50 (Tabela 5.9, Tabela 5.10, Tabela 5.11, Tabela 5.12, Tabela 5.13) no cenário simulado com requalificação fluvial.

Tabela 5.9 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências em um cenário simulado com requalificação fluvial TR = 2 anos

TR2 Req					Prejuízos	
C é l u l a	I n u n d a ç ã o	P E D	a t C i n g a s d a s	c o n Á s t r e r a u í d a	E d i f i c a ç ã o	C o n t e ú d o
5118	0,31	0,058	4	397,88	R\$ 12.735,99	R\$ 6.500,00
5118	0,31	0,037	25	989,00	R\$ 17.354,23	R\$ 40.625,00
5203	0,41	0,058	26	2586,22	R\$ 82.783,92	R\$ 42.250,00
5223	0,65	0,130	176	17506,72	R\$ 1.256.031,88	R\$ 848.047,20
5308	0,53	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
<b>Total casas afetadas</b>			231			
					<b>R\$ 1.368.906,02</b>	<b>R\$ 937.422,20</b>
Residência Unifamiliar Popular						
altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.						
altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.						
<b>Prejuízo às residências TR 2 Req</b>					<b>R\$ 2.306.328,22</b>	
<b>TOTAL DOS PREJUÍZOS REQ</b>					<b>R\$ 14.550.624,73</b>	



Tabela 5.10 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências em um cenário simulado com requalificação fluvial TR = 5 anos

TR5 Req					Prejuízos	
C é l u l a	I n u n d a ç ã o	P E D	a t C i n s a g i s d a s	c o n Á s r e r a u í d a	E d i f i c a ç ã o	C o n t e ú d o
5116	0,20	0,037	14	553,84	R\$ 9.718,37	R\$ 0,00
5120	0,28	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5203	0,43	0,058	26	2586,22	R\$ 82.783,92	R\$ 42.250,00
5301	0,21	0,037	29	2884,63	R\$ 50.617,32	R\$ 0,00
5118	0,51	0,13	4	397,88	R\$ 28.546,18	R\$ 19.273,80
5118	0,51	0,139	25	989,00	R\$ 65.195,62	R\$ 58.532,50
5223	0,68	0,13	176	17506,72	R\$ 1.256.031,88	R\$ 848.047,20
5308	0,72	0,13	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
					R\$ 1.492.893,29	R\$ 968.103,50
Residência Unifamiliar Popular						
	altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.					
	altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.					
Prejuízo às residências TR 5 Req					R\$ 2.460.996,79	
TOTAL DOS PREJUÍZOS REQ					R\$ 15.526.428,77	

Tabela 5.11 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências em um cenário simulado com requalificação fluvial TR = 10 anos

TR10 Req			Prejuízos			
Célula	Inundação	PED	Ataques das	Construção da Área	Edificação	Conteúdo
5116	0,32	0,058	14	1392,58	R\$ 44.575,96	R\$ 22.750,00
5120	0,41	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5122	0,31	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5127	0,32	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5129	0,32	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5203	0,45	0,058	26	2586,22	R\$ 82.783,92	R\$ 42.250,00
5222	0,20	0,037	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5301	0,24	0,037	29	1147,24	R\$ 20.130,91	R\$ 0,00
5118	0,69	0,130	4	397,88	R\$ 28.546,18	R\$ 19.273,80
5118	0,69	0,134	25	989,00	R\$ 62.850,46	R\$ 58.532,50
5223	0,70	0,130	176	17506,72	R\$ 1.256.031,88	R\$ 848.047,20
5308	0,88	0,138	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
<b>Total casas afetadas</b>			<b>274</b>		<b>R\$ 1.494.919,30</b>	<b>R\$ 990.853,50</b>
<div>Residência Unifamiliar Popular</div> <div>altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 75 cm e menor ou igual a 100 cm.</div>						
<b>Prejuízo às residências TR 10 Req</b>					<b>R\$ 2.485.772,80</b>	
<b>TOTAL DOS PREJUÍZOS REQ</b>					<b>R\$ 15.682.740,59</b>	

Tabela 5.12 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências em um cenário simulado com requalificação fluvial TR = 25 anos

TR25 Req					Prejuízos	
C é l u l a	I n u n d a ç ã o	P E D	a t i v i d a s	c o n s t r u í d a	E d i f i c a ç ã o	C o n t e ú d o
5122	0,44	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5127	0,46	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5129	0,49	0,058	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5203	0,46	0,058	26	2586,22	R\$ 82.783,92	R\$ 42.250,00
5218	0,20	0,037	17	672,52	R\$ 11.800,88	R\$ 0,00
5222	0,22	0,037	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5301	0,29	0,058	29	2884,63	R\$ 92.335,91	R\$ 47.125,00
5223	0,72	0,130	176	17506,72	R\$ 1.256.031,88	R\$ 848.047,20
5116	0,58	0,130	14	1392,58	R\$ 99.911,63	R\$ 67.458,30
5120	0,56	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5118	0,92	0,139	25	989,00	R\$ 65.195,62	R\$ 58.532,50
5118	0,92	0,138	4	397,88	R\$ 30.302,87	R\$ 25.487,80
5308	1,09	0,145	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Total de casa afetadas			291			
					R\$ 1.638.362,70	R\$ 1.088.900,80
<div>Residência Unifamiliar Popular</div> <div>altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 75 cm e menor ou igual a 100 cm.</div> <div>altura da lâmina d'água maior que 100 cm.</div>						
Prejuízo às residências TR 25 Req						R\$ 2.727.263,50
TOTAL DOS PREJUÍZOS REQ						R\$ 17.206.305,44

Tabela 5.13 – Prejuízo às edificações e ao conteúdo das residências em um cenário simulado com requalificação fluvial TR = 50 anos

TR50 Req	Prejuízo					
Célula	Indicação	PED	Ataques	Construção	Edificação	Conteúdo
5102	0,22	0,037	21	830,76	R\$ 14.577,55	R\$ 0,00
5103	0,32	0,058	38	3779,86	R\$ 120.991,88	R\$ 61.750,00
5109	0,23	0,037	23	909,88	R\$ 15.965,89	R\$ 0,00
5111	0,33	0,058	29	2884,63	R\$ 92.335,91	R\$ 47.125,00
5203	0,48	0,058	26	2586,22	R\$ 82.783,92	R\$ 42.250,00
5218	0,22	0,037	17	672,52	R\$ 11.800,88	R\$ 0,00
5222	0,24	0,037	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5301	0,35	0,058	29	2884,63	R\$ 92.335,91	R\$ 47.125,00
5120	0,67	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5122	0,57	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5223	0,74	0,130	176	17506,72	R\$ 1.256.031,88	R\$ 848.047,20
5127	0,59	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5129	0,63	0,130	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5116	0,79	0,138	14	1392,58	R\$ 106.060,03	R\$ 89.207,30
5118	1,12	0,145	4	397,88	R\$ 31.839,97	R\$ 35.581,00
5118	1,12	0,143	25	989,00	R\$ 67.071,75	R\$ 58.532,50
5308	1,26	0,145	0	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Total de casa afetadas			402			
					R\$ 1.891.795,58	R\$ 1.229.618,00
Residência Unifamiliar Popular						
	altura da lâmina d'água maior ou igual a 20 cm e menor ou igual a 50 cm.					
	altura da lâmina d'água maior que 50 cm e menor ou igual a 75 cm.					
	altura da lâmina d'água maior que 75 cm e menor ou igual a 100 cm.					
	altura da lâmina d'água maior que 100 cm.					
Prejuízo às residências TR 25 Req					R\$ 3.121.413,58	
TOTAL DOS PREJUÍZOS REQ					R\$ 19.692.998,30	

Com base nas Tabelas apresentadas, elaborou-se o gráfico comparativo abaixo (Figura 5.7) que permite uma melhor visualização do prejuízo para os diferentes tempos de recorrência, no cenário com e sem a requalificação fluvial.

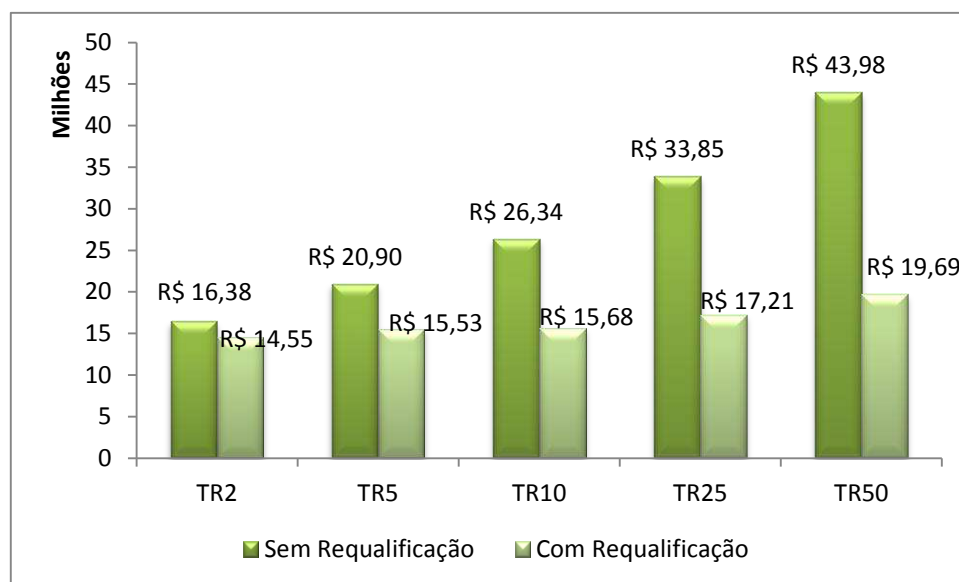


Figura 5.7 - Gráfico do Prejuízo para o cenário com e sem requalificação fluvial para diferentes tempos de recorrência

### 5.2.1 Distribuição de Poisson

É uma distribuição de probabilidade de variável aleatória discreta que expressa a probabilidade da ocorrência de um evento em um intervalo específico, e este evento deve atender a algumas condições, tais como:

- O número de ocorrências de um evento em um intervalo específico independe do número de ocorrências do evento em qualquer outro intervalo disjunto, ou seja, a ocorrência não depende uma das outras.
- O número de ocorrências durante o intervalo específico depende somente da sua duração ou do seu tamanho, ou seja, quanto maior o intervalo, maior será o número de ocorrências.

Sendo assim, aplicou-se a Distribuição de Poisson para eventos esperados em 50 anos para projetar o prejuízo esperado para o número de eventos em cada TR. As Tabelas 5.14 e 5.15 apresentam os prejuízos acumulados para eventos esperados em 50 anos nas condições atuais da bacia e com o cenário de requalificação, respectivamente.

Tabela 5.14 - Prejuízos acumulados para eventos esperados em 50 anos nas condições atuais da bacia aplicando a Distribuição de Poisson

TR	Prejuízos	Eventos esperados em 50 anos	probabilidade de que ocorram pelo menos os eventos da coluna anterior (dentro da lógica de que o TR é o tempo necessário para que um evento seja igualado ou superado)	Prejuízo esperado para o número de eventos de cada TR
2	R\$ 16.379.000,72	15	0,988	R\$ 242.736.790,67
5	R\$ 20.904.220,07	5	0,971	R\$ 101.463.497,30
10	R\$ 26.342.119,91	3	0,875	R\$ 69.175.557,99
25	R\$ 33.850.996,94	1	0,865	R\$ 29.269.762,68
50	R\$ 43.977.661,40	1	0,632	R\$ 27.799.183,90
Total:				<b>R\$ 470.444.792,54</b>

Tabela 5.15 - Prejuízos acumulados para eventos esperados em 50 anos com o cenário de requalificação aplicando a Distribuição de Poisson

TR Req	Prejuízos	Eventos esperados em 50 anos	probabilidade de que ocorram pelo menos os eventos da coluna anterior (dentro da lógica de que o TR é o tempo necessário para que um evento seja igualado ou superado)	Prejuízo esperado para o número de eventos de cada TR
2	R\$ 14.550.624,73	15	0,988	R\$ 215.640.258,50
5	R\$ 15.526.428,77	5	0,971	R\$ 75.380.811,68
10	R\$ 15.682.740,59	3	0,875	R\$ 41.167.194,05
25	R\$ 17.206.305,44	1	0,865	R\$ 14.883.454,21
50	R\$ 19.692.998,30	1	0,632	R\$ 12.445.974,93
Total:				<b>R\$ 359.517.693,36</b>

Entretanto, esses valores foram auferidos para o evento ocorrido em dezembro de 2010. Ao se projetar esses valores para o horizonte de tempo de 50 anos, que é o prazo do projeto de PSA, ou seja, até o ano de 2066 a partir desta data, chega-se aos seguintes valores:

- Total de prejuízo esperado em 50 anos nas condições atuais da bacia: **R\$5.533.767.783,00** (Cinco bilhões e quinhentos e trinta e três milhões, setecentos e sessenta e sete mil e setecentos e oitenta e três reais).

- Total de prejuízo esperado em 50 anos com cenário de requalificação: **R\$4.228.949.837,00** (Quatro bilhões e duzentos e vinte e oito milhões, novecentos e quarenta e nove mil e oitocentos e trinta e sete reais).
- Prejuízo evitado com projeto de PSA: **R\$1.304.817.946,00** (Um bilhão e trezentos e quatro milhões, oitocentos e dezessete mil e novecentos e quarenta e seis reais).

### 5.3 PSA para controle de enchentes na bacia do Rio Sesmaria

JACOB (2013) recomenda o reflorestamento de 13.022.664,03 m<sup>2</sup> de topo de morro e 2.142.323,00 m<sup>2</sup> de mata ciliar na área rural. Sendo assim, avaliar-se-á o custo benefício da implantação do projeto de PSA para redução das áreas inundadas na bacia do Rio Sesmaria, como já discutido anteriormente. As medidas serão convertidas em hectares (ha), em virtude dos dados fornecidos pelo IBGE possuírem essa unidade de medida. Sendo assim, as dimensões serão as seguintes:

Topos de morro – 1.302,26 ha

Mata ciliar rural – 214,23 ha

Para a implantação do projeto faz-se necessário uma ampla divulgação entre os *stakeholders*, principalmente para os potenciais vendedores de serviços ambientais. A comunicação entre as partes envolvidas é importante para identificar os possíveis conflitos e possibilitar a compreensão adequada do projeto e suas implicações no longo prazo. A aceitação do projeto pelas comunidades da bacia é de fundamental importância para a implantação e sucesso do projeto, já que a adesão ao projeto deve ser voluntária. Sendo assim, considerando-se que o mercado de PSA é um mercado abstrato e de difícil entendimento, nessa fase é necessário todo o empenho para esclarecimento de dúvidas. Discussões são essenciais para esclarecimentos que evitem conclusões antecipadas, como a perda de direitos de uso de produtos ou da própria terra. É importante destacar que as comunidades estarão suscetíveis a obter benefícios adicionais indiretos com a implantação do projeto, como a regulação das inundações, entre outros. As vantagens do projeto devem ser destacadas como forma de induzir à adesão dos *stakeholders*, principalmente, pelo fato de que os projetos de serviços ambientais são de longo prazo e os benefícios gerados são graduais.

O estabelecimento de regras que considerem o acesso dos potenciais vendedores dos serviços aos recursos florestais - produtos florestais não madeireiros,

matéria prima para medicamentos, etc. - devem ser definidas para assegurar que o PSA não resultará em perda de direitos para futuros vendedores e/ou comunidades locais.

O custo de oportunidade é outro fator que precisa ser debatido pela possível perda de oportunidade relacionada ao projeto, ou seja, a perda do potencial de geração de riqueza por área, que é fixado com base nos principais usos e índices de produção. Na área de estudo, o reflorestamento será realizado em área que atualmente, é ocupada basicamente pela atividade pecuária, que apresenta uma baixa produtividade econômica. Em muitos casos, deve-se considerar a redução de postos de trabalhos com a implantação de um projeto de PSA, entretanto, na área de estudo apresentada esse fator é de baixa representatividade.

Considerando que um projeto de PSA é de longo prazo, a entrega dos serviços, reflorestamento e manutenção da floresta, podem apresentar riscos que impossibilitem a entrega de resultados pelos vendedores do serviço ambiental, como por exemplo, incêndios, pragas, infestações por insetos, entre outros. Assim, o ideal seria a utilização de seguros que cobrissem os riscos da atividade. Entretanto, ainda é pouco utilizada essa prática em florestas tropicais, o que aumenta muito o seu custo, que pode inviabilizar a prática. Sugere-se, então, a partilha de riscos entre vendedores e compradores, que deverá ser bem definida nos acordos de PSA. FILOSO (2017) apresentou um estudo no qual revisa os projetos de restauração de floresta ao redor do mundo. A autora verificou a predominância de resultados hidrológicos positivos, como o aumento de infiltração do solo e a redução do máximo dos picos de fluxo e da frequência de inundações.

Para as ações de implementação do PSA faz-se necessário a definição das áreas por propriedade que deverão ser utilizadas para o alcance das metas traçadas. A identificação dos potenciais vendedores nessa fase é fator relevante, bem como, a respectiva legalidade de propriedade da terra para garantir a seguridade na entrega dos resultados. Alguns casos na utilização desse instrumento – PSA - têm ocorrido a negociação com posseiros, que ocupam a terra há algum tempo, mas ainda não estão documentados sobre a ocupação. Entretanto, este não é o cenário ideal para a negociação dos pagamentos.

Neste sentido, o Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) criado pela Lei 12.651/12 é um grande aliado no processo de identificação dos vendedores de serviços ambientais. O SICAR é um registro eletrônico, obrigatório para todos os imóveis rurais, formando base de dados estratégica para o controle, monitoramento e



combate ao desmatamento das florestas e demais formas de vegetação nativa do Brasil, bem como para planejamento ambiental e econômico dos imóveis rurais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017).

Para recuperação florestal de topos de morro e mata ciliar, o SICAR poderá ser utilizado para identificar as áreas e respectivos proprietários rurais como potenciais produtores/vendedores dos serviços ambientais. A utilização desse instrumento pode contribuir para mapear os usos da terra, identificar e quantificar o serviço ambiental definindo uma linha de base, que é o estado inicial do projeto.

Os beneficiários dos serviços ambientais, no caso da bacia do Rio Sesmária, estão distantes da fonte do serviço – que são os moradores da área urbana atingida pelas inundações. FILOSO (2017) diz que é importante reconhecer que a recuperação desses serviços pode se prolongar, uma vez que uma miríade de fatores como história de uso do solo, tipo de intervenção da floresta e tipo de vegetação podem afetar a superfície e condições subterrâneas e influenciam fortemente a recuperação. Entretanto, atualmente, observa-se que softwares e modelos matemáticos, como o MODCEL, utilizado no trabalho de JACOB (2013), relacionados à qualidade e à quantidade de água, podem indicar áreas que, através da revegetação, contribuem para proteção do solo, controle da erosão e da carga de sedimentos que aporta no rio, assim como a regulação dos fluxos sazonais (Anexo VII). A análise de cenário ou planejamento de cenários é definido como um processo estruturado de exploração e avaliação de futuros alternativos (COSTANZA *et al.*, 2015 *apud* KUBISZEWSKI *et al.*, 2017).

Entende-se que o município é o ator com melhor potencial para atuar no papel de comprador dos serviços ambientais. O Decreto Estadual nº 42.029 de 15 de junho de 2011 no estado do Rio de Janeiro, regulamentou o programa PRO-HIDRO que institui o mecanismo do PSA a ser coordenado como um sub programa denominado PRO-PSA (Programa Estadual de PSA) e no seu artigo segundo, como reproduzido a seguir, define o que são os serviços ambientais e as respectivas modalidades:

Art. 2º - São considerados serviços ambientais, passíveis de retribuição, direta ou indireta, monetária ou não, as práticas e iniciativas prestadas por possuidores, a qualquer título, de área rural situada no estado do rio de Janeiro, que favoreçam a conservação, manutenção, ampliação ou a restauração de benefícios propiciados aos ecossistemas, que se enquadre em uma das seguintes modalidades:

- I- conservação e recuperação da qualidade e da disponibilidade das águas;
- II- conservação e recuperação da biodiversidade;

III- conservação e recuperação das faixas marginais de proteção - FMP;

IV- sequestro de carbono originado de reflorestamento das matas ciliares, nascentes e olhos d'água para fins de minimização dos efeitos das mudanças climáticas globais.

Nesse sentido, podemos nos apoiar na experiência do PRO-PSA Guandu, que baseado no Decreto citado, criou uma lei municipal autorizando o município a celebrar o contrato de PSA para ações de restauração e conservação florestal. Sendo assim, entende-se que o município é capaz de utilizar mecanismos legais para desempenhar o papel de comprador dos serviços ambientais e em contrapartida, o benefício gerado com a evolução do projeto propiciará maior tranquilidade para os moradores das áreas afetadas, diminuindo gradativamente o custo para o município no controle das inundações, além de, secundariamente, poder gerar maior arrecadação de IPTU com a valorização do solo urbano “livre” de inundações.

O Decreto nº 42.029 ainda prevê no seu artigo sexto os recursos financeiros disponíveis para os programas de PSA como apresentado abaixo:

Art. 6º - os recursos financeiros para a implementação e a manutenção do PRO-PSA poderão advir das seguintes fontes, respeitados os seus respectivos regulamentos:

I - recursos provenientes do fundo estadual de recursos Hídricos - FUNDRHI;

II- doações e transferências de pessoas físicas ou instituições, nacionais ou internacionais, públicas ou privadas;

III - remunerações oriundas de projetos no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo - MDL;

IV - recursos provenientes do fundo estadual de conservação ambiental - FECAM, mediante a apresentação de projetos específicos;

V - quaisquer outras receitas, eventuais ou permanentes, vinculadas aos objetivos do PRO-PSA.

Além dos recursos financeiros que constam no decreto, outra fonte de recursos para projetos de PSA é o ICMS Verde ou ICMS Ecológico que foi criado pela Lei Estadual nº 5.100/2007, no Rio de Janeiro, que determina que as prefeituras que investem na preservação ambiental obtenham maior repasse do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços). O ICMS Verde é um benefício proporcionado pelo remanejamento tributário aos municípios, com base na conservação ambiental realizada pelos mesmos, em seu território. Os principais objetivos da lei são: ressarcir os municípios pela restrição ao uso de seu território e investimentos ambientais realizados, uma vez que os benefícios ambientais ultrapassam os limites territoriais. Os repasses são realizados como determinado na lei, calculado ano a ano e baseado no investimento

do município na conservação ambiental. O ICMS Verde é composto pelos seguintes critérios: 45% para unidades de conservação; 30% para qualidade da água; e 25% para gestão dos resíduos sólidos. O Índice Final de Conservação Ambiental (IFCA), que indica o percentual do ICMS Verde que cabe a cada município, é composto por seis sub índices temáticos com pesos diferenciados (SEA, 2017). Para o estudo apresentado, destaca-se o sub índice referente às Unidades de Conservação (UC)<sup>11</sup> municipais que são beneficiadas com 9% dos recursos destinados exclusivamente a elas. A última atualização na Web referente ao valor recebido pelo município de Resende referente ao ICMS Verde foi no ano de 2014 no valor de R\$3.073.703,00 (Três milhões, setenta e três mil e setecentos e três reais).

O Decreto Federal nº 8.972 de 23 de janeiro de 2017 instituiu a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PROVEG) que tem como um dos seus objetivos articular, integrar e promover políticas, programas e ações indutoras da recuperação de florestas e demais formas de vegetação nativa. Essa política será implementada pelo Poder Executivo federal em regime de cooperação com os Estados, com os Municípios, com o Distrito Federal e com organizações da sociedade civil e privadas. Esse Decreto vem corroborar o papel do Município como comprador do serviço ambiental e incentivador de parcerias para a recuperação ambiental. cabe ressaltar que o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012) dispõe expressamente sobre a manutenção de Áreas de Preservação Ambiental (APP) e Reserva Legal. Entretanto, desde então, se percebe uma ineficácia fiscalizatória, que induz ao relaxamento do cumprimento da lei. O PSA, em muitos casos, entra nessa lacuna como um incentivo para o cumprimento da lei, e ao mesmo tempo, propiciará benefícios para a sociedade.

Instituições públicas, privadas e não governamentais podem prestar serviços de apoio na implantação do PSA. A formação de uma parceria é essencial para atender às diversas demandas que surgirão ao longo do processo. DE CARLI (2017) afirma que a colaboração público-privada pode representar uma maneira particularmente adequada para o desenvolvimento de um PSA. Nesse sentido sugere-se a criação de uma Comissão Gestora do Projeto que inclui a participação da Secretaria do Estado de Ambiente (SEA), o Comitê da Bacia Hidrográfica, Prefeitura Municipal, ONGs e apoio técnico da própria Prefeitura, ANA, INEA, Emater, Universidades, entre outros.

---

<sup>11</sup> Unidades de Conservação são áreas protegidas, criadas pela Lei Federal nº 9.985/2000 – Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).

A determinação do preço de um serviço ambiental deve ser acordada pelo valor que o comprador está disposto a pagar e o valor que o vendedor está disposto a aceitar para cumprir as metas determinadas. Critérios de equidade<sup>12</sup> devem estar claros para a negociação. Os critérios adotados para a avaliação de resultados devem ser definidos e acordados pelas partes, inclusive a restauração, manutenção e questões técnicas que poderão ser utilizadas para implantação e monitoramento do projeto. A fixação do preço deve ser baseada em fatores que considerem o ponto de vista social direto e indireto. Aplica-se aqui a Teoria de Pareto, que especifica a condição ótima para a alocação de recursos, ou seja, a redistribuição dos benefícios deve ocorrer desde que, pelo menos, um usuário seja beneficiado sem que os outros usuários sejam prejudicados. KUBISZEWSKI *et al.* (2017) ratifica essa posição ao dizer que o cenário de transição explora soluções visionárias para o desafio da sustentabilidade incluindo novos arranjos socioeconômicos e mudanças fundamentais nos valores. Isto significa uma mudança para um cenário em que a sociedade preserve os sistemas naturais, fornece alto nível de bem estar, distribuição equitativa e goza de um forte sentido de solidariedade local.

Sendo assim, é necessário avaliar os seguintes itens:

- Valor Financeiro;

Deve-se avaliar o benefício real do custo da recuperação ambiental e o custo ao proprietário para atender às exigências do projeto, como por exemplo, cercas e plantação de mudas, quando não utilizada a técnica da regeneração natural. Os custos de operação e monitoramento do projeto também precisam ser considerados para que a avaliação represente os custos para o cumprimento do acordo ao longo do tempo e o impacto da transação para o vendedor, bem como, os custos administrativos ao longo do tempo, desde a implantação até a entrega final do produto.

- Custo de projetos alternativos;

Considerando-se a não recuperação ambiental, quais as ações que precisarão ser realizadas e seus custos para proteger a população das enchentes.

- Mercado ou preço de transação;

---

<sup>12</sup> Respeito a igualdade de direitos.

Reflete os riscos e incertezas, bem como os benefícios diretos e indiretos, tais como, a biodiversidade, auxílio financeiro para a população ribeirinha, captura de CO<sub>2</sub>, aumento da beleza cênica.

- Preços de ofertas semelhantes.

A Regeneração Natural Assistida (RNA) pode ser uma alternativa para técnica de plantio total, por ser uma técnica simples e de baixo custo para a restauração florestal. O objetivo desse método é acelerar os processos naturais de sucessão. Faz-se necessário promover a remoção das barreiras para que ocorra a regeneração natural da floresta, tais como, a competição com espécies daninhas, pragas, extração de madeira, invasão de gado e utilizar técnicas para melhorar a qualidade do solo degradado, fazer aceiros para evitar incêndios, entre outras. Segundo SHONO *et al.* (2007), na comparação do RNA com os métodos convencionais de restauração envolvendo o plantio de mudas de árvores, o RNA oferece significativas vantagens de custo, pois reduz ou elimina os custos associados com o transporte, plantio de mudas e todos os cuidados necessários para que ocorra a revegetação. Ratificando a utilização desse método, VALCARCEL & SILVA (1997) afirmam que esta tecnologia é mais econômica e mais rápida, podendo ser estendida para os ecossistemas degradados da região de domínio ecológico da Mata Atlântica.

FILOSO (2017) afirma que as florestas e o ciclo hidrológico estão intimamente interligados, na medida em que, enquanto as florestas influenciam o fluxo d'água e armazenamento, seu crescimento depende precisamente desses processos. RUNYAN & D'ODORICO (2016) citam que as áreas que apresentam um período prolongado sem cobertura florestal podem se tornar incapazes de se recuperar espontaneamente e permanecerem em estado degradado. Outros autores corroboram a teoria afirmando que, dependendo da área a ser reflorestada, o resultado positivo entre o crescimento da vegetação e o ambiente físico, necessário para induzir o sistema de volta para um estado florestal estável pode nunca ser gerado (HIROTA *et al.*, 2011; NEWTON & CANTARENO, 2015 apud FILOSO, 2017).

Outro ponto, essencial para o sucesso do projeto, segundo BARBOSA (2014) é o gerenciamento de custos que é uma ferramenta eficaz para planejar, elaborar estimativas, monitorar e controlar processos e projetos e deve ser feito com metodologia e emprego de técnicas. Entre essas, pode-se citar a estimativa de custos análoga em que o custo de projetos semelhantes já realizados é considerado como base para a estimativa

dos custos do projeto atual. Sendo assim, se utilizou de experiências anteriores que obtiveram sucesso na utilização do PSA, como o Projeto Conservador das Águas (Extrema – MG), oficializado através do Decreto 2.409/2010, apesar da prática está sendo exercida desde 2005. Ou, ainda se utilizando de outra experiência - PRO-PSA Guandu - que teve origem no projeto piloto - Projeto Produtor de Águas e Florestas - (Rio Claro – RJ) em 2008 e, posteriormente, regulamentado pelo Decreto Municipal 931/2011. Também no mesmo ano, foi criado o PRO-HIDRO, já citado anteriormente. Sendo assim, pode-se utilizar com segurança alguns dados para a avaliação do estudo de caso na Bacia do Rio Sesmaria:

- No caso do PRO-PSA Guandu aplicou-se o valor de R\$60,00 (Sessenta reais) por hectare conservado e R\$50,00 (Cinquenta reais) por hectare restaurado, reajustados em 5% (cinco por cento) anualmente, para o pagamento ao vendedor do serviço ambiental.
- No projeto Produtor de Águas e Florestas, criou-se uma Unidade Fiscal para pagamento do PSA aos produtores gerando um valor de R\$262,00 (Duzentos e sessenta e dois reais) por hectare em 2016.

Assim sendo, sugere-se a utilização da Unidade Fiscal do Município (UFM) de Resende, que corresponde a R\$107,74 (Cento sete reais e setenta e quatro centavos) em 2017, como base para o pagamento aos vendedores dos serviços ambientais. Será aplicado o índice igual a 2,55 (dois inteiros e cinquenta e cinco décimos) na UFM, para aproximar o valor ao que vem sendo praticado em outros projetos semelhantes. Este valor será pago ao prestador do serviço ambiental, que totaliza R\$274,74 (Duzentos e setenta e quatro reais e setenta e quatro centavos) por hectare ao ano, tanto para o hectare preservado, quanto para aqueles que serão submetidos à técnica da RNA.

Entretanto, outros custos precisam ser adicionados ao projeto, além do valor a ser pago por hectare aos prestadores do serviço ambiental, como se destaca abaixo, com base no Manual para PSA (FOREST TRENDS, GRUPO KATOOMBA & PNUMA; 2008):

#### 1) Custos de transação

Incluem a elaboração do projeto, a valoração dos serviços ambientais, identificar e aproximar-se de potenciais compradores, fazer os trâmites para aprovação e formalização de parcerias, promover a formação e capacitação

de uma equipe técnica, negociar, fechar acordos e, finalmente, implementá-los.

## 2) Comunicação

Como já colocado anteriormente, essa etapa é fundamental para o envolvimento dos *stakeholders* e sucesso do projeto.

## 3) Diagnóstico

Avaliação das áreas onde será implantado o projeto para medir e documentar a existência e o estado atual dos serviços ambientais e identificar o perfil sócio agrícola, o ambiente físico, a cobertura vegetal, o potencial para produção de água e contenção de sedimentos.

## 4) Revegetação/Reflorestamento

Observar o clima, o solo, a presença de animais e aves para disseminação de sementes, avaliar as atividades anteriores da terra para averiguar a necessidade do uso de fertilizantes e espalhamento de sementes para acelerar o processo de regeneração, ou se reflorestar, proceder com técnicas adequadas para recuperar a área e posterior manutenção.

## 5) Isolamento

A área determinada para recuperação deverá ser cercada com mourões e fios de arame e realizar as tarefas necessárias para o desenvolvimento da atividade.

## 6) Monitoramento

Atividade realizada por técnicos capacitados para avaliar e acompanhar o a recuperação florestal e utilização dos índices ecossistêmicos que servirão de parâmetro para avaliar o projeto.

Atualmente, o uso dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou Sistemas de Aeronaves não tripuladas apresentam um resultado preciso com imagens de alta resolução que permite a identificação de doenças, falhas, pragas, plantas daninhas, entre outros aspectos. Entretanto, aguarda-se ainda a regulamentação da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) para a utilização na agricultura de precisão. Todavia, cabe ressaltar que a presença do técnico é sempre necessária para avaliar e indicar intervenções necessárias.

Sugere-se ainda um programa semelhante ao Projeto Big 2050, que é um mecanismo de monitoramento ambiental com o objetivo de identificar

alterações na saúde ambiental na Baía da Ilha Grande. Esse projeto foi desenvolvido em parceria entre a SEA, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO-ONU) – cooperação com o governo na gestão de recursos naturais -, *Global Environment Facility* (GEF) – mecanismo de cooperação internacional -, INEA – proteção, conservação e recuperação do patrimônio ambiental -, Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI), que tem a missão de encontrar soluções para segmentos fundamentais para o desenvolvimento do país e têm competências distintas, entre elas, projetos voltados a sistemas inteligentes, economia verde, instrumentação, entre outros.

#### 7) Pagamento dos Serviços Ambientais

Sugere-se que o pagamento seja realizado mensalmente – valor anual em doze parcelas, podendo ser interrompido, caso o vendedor não atenda os requisitos do acordo.

O Fluxograma (Figura 5.8) apresenta de forma sintetizada o arcabouço do projeto de PSA para a Bacia do Rio Sesmaria.



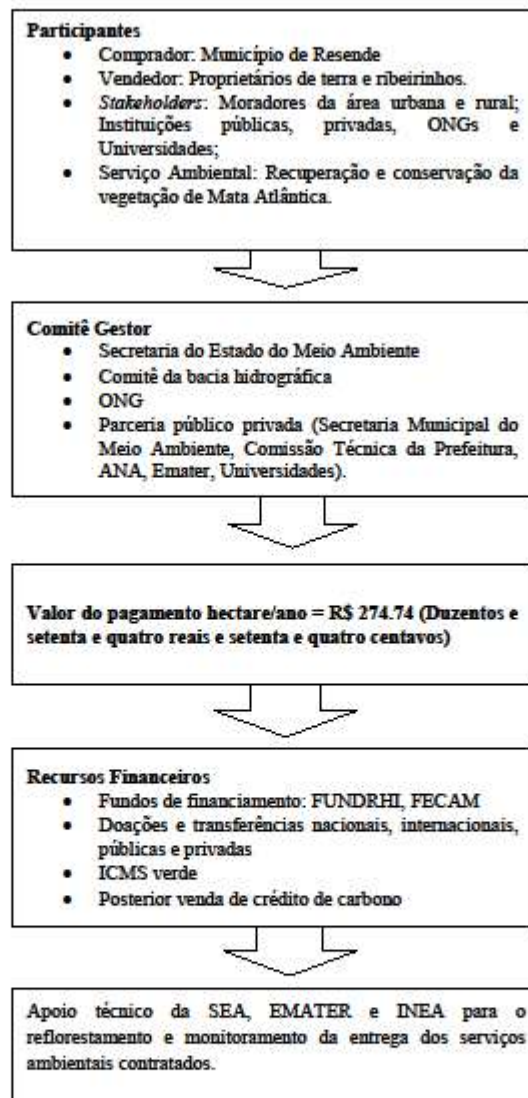


Figura 5.8 – Fluxograma do PSA na bacia do Rio Sasmaria

Sendo assim, pode-se distribuir o custo do projeto como discriminado a seguir, com base em experiências bem sucedidas, para o primeiro ano do projeto:

- 18% Coordenação do projeto
- 3% Comunicação
- 5% Diagnóstico
- 45% Restauração
- 15% Isolamento
- 5% Monitoramento
- 9% Pagamento do PSA

Assim sendo, pode-se apresentar a seguinte fórmula (Equação 5.4) para o custo total do projeto anual por hectare.

(5.4)

$$P = \frac{X * 100}{9}$$

Onde: X = 2,55Y que é o valor do pagamento do PSA anual por hectare.

Y = Unidade Fiscal Municipal

Dessa forma, pode-se estimar o custo de implantação do projeto no primeiro ano por hectare, através do valor P, que corresponde a R\$3.052,63 (Três mil e cinquenta e dois reais e sessenta e três centavos), e multiplicado pelo total de hectares, resulta no valor total do projeto para o primeiro ano, como apresentado na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Custo da implantação do projeto de PSA no Ano 1 na Bacia do Rio Sesmaria

Valor Unitário Hectare/ano	Total de Hectares	Valor Total Ano 1
<b>R\$3.052,63</b>	<b>1.516,49</b>	<b>R\$4.629.282,87</b>

Portanto, o Custo total do projeto no primeiro ano na Bacia do Rio Sesmaria será igual a:

(5.5)

$$\text{Custo Total do Projeto} = P * \text{Número de Hectares}$$

Totalizando o valor de R\$4.629.282,87 (Quatro milhões e seiscentos e vinte e nove mil, duzentos e oitenta e dois reais e oitenta e sete centavos) no primeiro ano, que será distribuído como mostra a Tabela 5.17:

Tabela 5.17 – Custo das etapas do Projeto de PSA no ano 1 na Bacia do Rio Sesmaria

ETAPAS	QUOTA	VALOR
Coordenação do projeto	18%	833.270,92
Comunicação	3%	138.878,49
Diagnóstico	5%	231.464,14
Restauração	45%	2.083.177,29
Isolamento	15%	694.392,43
Monitoramento	5%	231.464,14
Pagamento do PSA	9%	416.635,46
CUSTO TOTAL DO PROJETO NO ANO 1		R\$4.629.282,87

Entretanto, a partir do segundo ano o custo do projeto diminui gradativamente à medida que algumas atividades iniciais como diagnóstico e isolamento não ocorrerão nos anos seguintes. O isolamento é realizado no primeiro ano, porém, a conservação das cercas e aceiros são tarefas de responsabilidade dos vendedores dos serviços ambientais, tarefas essas que devem estar estabelecidas nas regras do acordo assinado entre as partes, seguindo práticas de projetos anteriores como já citados.

Os valores serão reajustados anualmente em 4,5% referente a meta inflacionária estipulada pelo Banco Central para o ano de 2017. Entretanto, o projeto aqui apresentado possui um horizonte de 50 anos e, considerando que a área já se encontra restaurada, a partir do quinto ano considerar-se-á apenas os valores referentes à coordenação do projeto, monitoramento e pagamento do PSA. Sendo assim, na Tabela 5.18 se apresenta o custo do projeto para o prazo estipulado.

Tabela 5.18 – Custo do Projeto de PSA para 50 anos

	Ano	Coordenação do Projeto	Comunicação	Diagnóstico	Restauração	Isolamento	Monitoramento	Pagamento do PSA	Valor
1	2017	833.270,92	138.878,49	231.464,14	2.083.177,29	694.392,43	231.464,14	416.635,46	4.629.282,87
2	2018	870.768,11	145.128,02	0,00	2.176.920,27	0,00	241.880,03	435.384,05	3.870.080,48
3	2019	909.952,67	151.658,78	0,00	0,00	0,00	252.764,63	454.976,34	1.769.352,42
4	2020	950.900,54	158.483,42	0,00	0,00	0,00	264.139,04	475.450,27	1.848.973,28
5	2021	993.691,07	165.615,18	0,00	0,00	0,00	276.025,30	496.845,53	1.932.177,07
6	2022	1.038.407,17	0,00	0,00	0,00	0,00	288.446,43	519.203,58	1.846.057,18
7	2023	1.085.135,49		0,00	0,00	0,00	301.426,52	542.567,74	1.929.129,76
8	2024	1.133.966,58		0,00	0,00	0,00	314.990,72	566.983,29	2.015.940,59
9	2025	1.184.995,08		0,00	0,00	0,00	329.165,30	592.497,54	2.106.657,92
10	2026	1.238.319,86		0,00	0,00	0,00	343.977,74	619.159,93	2.201.457,53
11	2027	1.294.044,25		0,00	0,00	0,00	359.456,74	647.022,13	2.300.523,12
12	2028	1.352.276,24		0,00	0,00	0,00	375.632,29	676.138,12	2.404.046,66
13	2029	1.413.128,68		0,00	0,00	0,00	392.535,74	706.564,34	2.512.228,76
14	2030	1.476.719,47		0,00	0,00	0,00	410.199,85	738.359,73	2.625.279,05
15	2031	1.543.171,84		0,00	0,00	0,00	428.658,84	771.585,92	2.743.416,61
16	2032	1.612.614,57		0,00	0,00	0,00	447.948,49	806.307,29	2.866.870,36
17	2033	1.685.182,23		0,00	0,00	0,00	468.106,18	842.591,12	2.995.879,52
18	2034	1.761.015,43		0,00	0,00	0,00	489.170,95	880.507,72	3.130.694,10
19	2035	1.840.261,13		0,00	0,00	0,00	511.183,65	920.130,56	3.271.575,33
20	2036	1.923.072,88		0,00	0,00	0,00	534.186,91	961.536,44	3.418.796,22
21	2037	2.009.611,16		0,00	0,00	0,00	558.225,32	1.004.805,58	3.572.642,05
22	2038	2.100.043,66		0,00	0,00	0,00	583.345,46	1.050.021,83	3.733.410,95
23	2039	2.194.545,62		0,00	0,00	0,00	609.596,01	1.097.272,81	3.901.414,44
24	2040	2.293.300,18		0,00	0,00	0,00	637.027,83	1.146.650,09	4.076.978,09
25	2041	2.396.498,68		0,00	0,00	0,00	665.694,08	1.198.249,34	4.260.442,10
26	2042	2.504.341,12		0,00	0,00	0,00	695.650,31	1.252.170,56	4.452.162,00
27	2043	2.617.036,47		0,00	0,00	0,00	726.954,58	1.308.518,24	4.652.509,29
28	2044	2.734.803,12		0,00	0,00	0,00	759.667,53	1.367.401,56	4.861.872,21
29	2045	2.857.869,26		0,00	0,00	0,00	793.852,57	1.428.934,63	5.080.656,45
30	2046	2.986.473,37		0,00	0,00	0,00	829.575,94	1.493.236,69	5.309.286,00
31	2047	3.120.864,67		0,00	0,00	0,00	866.906,85	1.560.432,34	5.548.203,86
32	2048	3.261.303,58		0,00	0,00	0,00	905.917,66	1.630.651,79	5.797.873,04
33	2049	3.408.062,25		0,00	0,00	0,00	946.683,96	1.704.031,12	6.058.777,33
34	2050	3.561.425,05		0,00	0,00	0,00	989.284,74	1.780.712,52	6.331.422,31
35	2051	3.721.689,17		0,00	0,00	0,00	1.033.802,55	1.860.844,59	6.616.336,31
36	2052	3.889.165,19		0,00	0,00	0,00	1.080.323,66	1.944.582,59	6.914.071,44
37	2053	4.064.177,62		0,00	0,00	0,00	1.128.938,23	2.032.088,81	7.225.204,66
38	2054	4.247.065,61		0,00	0,00	0,00	1.179.740,45	2.123.532,81	7.550.338,87
39	2055	4.438.183,57		0,00	0,00	0,00	1.232.828,77	2.219.091,78	7.890.104,12
40	2056	4.637.901,83		0,00	0,00	0,00	1.288.306,06	2.318.950,91	8.245.158,80
41	2057	4.846.607,41		0,00	0,00	0,00	1.346.279,84	2.423.303,70	8.616.190,95
42	2058	5.064.704,74		0,00	0,00	0,00	1.406.862,43	2.532.352,37	9.003.919,54
43	2059	5.292.616,45		0,00	0,00	0,00	1.470.171,24	2.646.308,23	9.409.095,92
44	2060	5.530.784,20		0,00	0,00	0,00	1.536.328,94	2.765.392,10	9.832.505,24
45	2061	5.779.669,48		0,00	0,00	0,00	1.605.463,75	2.889.834,74	10.274.967,97
46	2062	6.039.754,61		0,00	0,00	0,00	1.677.709,61	3.019.877,31	10.737.341,53
47	2063	6.311.543,57		0,00	0,00	0,00	1.753.206,55	3.155.771,78	11.220.521,90
48	2064	6.595.563,03		0,00	0,00	0,00	1.832.100,84	3.297.781,51	11.725.445,38
49	2065	6.892.363,37		0,00	0,00	0,00	1.914.545,38	3.446.181,68	12.253.090,43
50	2066	7.202.519,72		0,00	0,00	0,00	2.000.699,92	3.601.259,86	12.804.479,50
<b>VALOR TOTAL DO PSA PARA 50 ANOS</b>									<b>R\$ 270.374.841,48</b>

O valor total do projeto de implantação do PSA no final de 50 (cinquenta) anos será de **R\$270.374.841,48** (Duzentos e setenta milhões, trezentos e setenta e quatro mil, oitocentos e quarenta e um reais e quarenta e oito centavos).

Através da discussão apresentada, pode-se resgatar a equação 3.1 sugerida na metodologia ratificando a viabilidade da implantação do projeto de PSA na bacia do Rio Sesmaria.

(3.1)

$$PSA = \sum_{Tempo} \sum_{Espaço} PE - \left[ CI + \sum_{Tempo} (M + Ad + VI) \right]$$

Onde:

PSA – resultado aceitável para implantação do projeto de PSA

Tempo – horizonte de Projeto

Espaço – área afetada pelas cheias e que será receptora dos serviços ambientais

PE – prejuízos evitados, pela redução das inundações, como resultado do serviço ambiental de controle de cheias, integrado no espaço da bacia urbanizada e no horizonte de projeto.

CI – custo de implantação do Projeto de PSA

M – custo de Manutenção da área prestadora do serviço ambiental

Ad – custo de administração e monitoramento do Projeto de PSA

VI – valor da terra imobilizado, que não poderá ser usada produtivamente com outra atividade econômica, uma vez que estará alocada para prestar o serviço ambiental oferecido.

Aplicando os valores resultantes nas Planilhas 5.14, 5.15 e 5.18, confirma-se o valor positivo para o resultado na implantação do projeto de PSA, comprovando sua viabilidade na bacia do Rio Sesmaria.

$$PSA = 1.304.817.946 - [4.629.282,87 + 265.745.558,61]$$

$$PSA = 1.034.443.104,52$$

## **5.4 Considerações econômicas**

### **5.4.1 Reflorestamento**

a) O prejuízo evitado através do reflorestamento de topos de morros e mata ciliar na bacia do Rio Sesmaria foi de R\$1.304.817.946,00 (Um bilhão, trezentos e quatro milhões, oitocentos e dezessete mil e novecentos e quarenta e seis reais).

b) O custo do projeto de PSA para um horizonte de 50 anos é de R\$270.374.841,48 (Duzentos e setenta milhões, trezentos e setenta e quatro mil, oitocentos e quarenta e um reais e quarenta e oito centavos).

Sendo assim, pode-se afirmar que a implantação do projeto de PSA geraria um lucro, a longo prazo, para o município no valor de R\$1.034.443.104,52 (Um bilhão, trinta e quatro milhões, quatrocentos e quarenta e três mil, cento e quatro reais e cinquenta e dois centavos).

### **5.4.2 Serviços de dragagem**

a) Solicitação de verba emergencial pelo município para obras e serviços ao longo das margens do Rio Sesmaria para conter as inundações (Anexo III) no valor de R\$5.434.899,05 (Cinco milhões, quatrocentos e trinta e quatro mil, oitocentos e noventa e nove reais e cinco centavos).

b) Do valor total da verba emergencial solicitada pelo município, R\$1.410.584,13 (Um milhão, quatrocentos e dez mil, quinhentos e oitenta e quatro reais e treze centavos) foram destinados para serviços de dragagem ao longo do Rio Sesmaria.

c) Considerando que a necessidade de dragagem no Rio Sesmaria vem acontecendo a cada dois anos, devido ao nível de assoreamento que ocorre na bacia, ao se projetar esses custos para um horizonte de 50 anos, aufer-se o valor total de R\$396.949.240,80 (Trezentos e noventa e seis milhões, novecentos e quarenta e nove mil, duzentos e quarenta reais e oitenta centavos).

Sendo assim, verifica-se que o custo de dragagens para um horizonte de 50 anos é superior ao custo de implantação do projeto de PSA para o mesmo horizonte de tempo.

### 5.4.3 Utilização da terra

A análise de dados desse item referente ao município de Resende auferidas na página na web do IBGE, Produção Agrícola Municipal 2016, Rio de Janeiro (IBGE, 2017) sustentam a análise dos itens seguintes. O site informa que o valor zero foi atribuído às atividades que, por arredondamento, os totais não atingem a unidade de medida. Segundo os dados, o município não apresenta lavoura permanente e a produção agrícola temporária são analisadas abaixo.

a) Segundo dados da produção agrícola municipal 2016 (IBGE, 2017) a utilização das terras para pastagens plantadas em boas condições corresponde a 16.622ha, 1.350ha de pastagens degradadas e 12.975ha de pastagens naturais, em áreas de estabelecimentos agropecuários. O total de cabeças de bois é de 31.178, que resulta na densidade de uma cabeça de boi por hectare, no município de Resende. Para calcular a rentabilidade da atividade são considerados os valores abaixo, registrados na BM&FBOVESPA para novembro de 2017 no estado de São Paulo, pela falta de dados atualizados para o Rio de Janeiro:

- O preço de um bezerro é de R\$1.198,46 (Um mil cento e noventa e oito reais e quarenta e seis centavos) e ele precisará aproximadamente de 30 meses para alcançar o peso do boi gordo, que varia em torno de 18 arrobas (1 arroba = 15 kg).
- A arroba do boi gordo encontra-se no valor de R\$139,25 (Cento e trinta e nove reais e vinte e cinco centavos).
- Os custos fixos e variáveis da atividade variam em torno de 26,10% ao ano.

Sendo assim, conclui-se que a rentabilidade por hectare é de R\$322,21 (Trezentos e vinte e dois reais e vinte e um centavos) ao ano. Ao se comparar a rentabilidade da atividade com o pagamento por serviços ambientais (R\$274,74) pode no primeiro momento não ser atrativa a troca de atividades. Entretanto, há de se considerar a qualidade das pastagens, a baixa tecnologia e a variação do preço no mercado que é influenciado por variáveis diversas. Dados informam que o sistema de preparo do solo é o cultivo convencional (aração mais gradagem) ou gradagem profunda. Destaca-se nessa atividade, o custo de oportunidade, que é a escolha entre duas ou mais alternativas mutuamente excludentes. O custo de oportunidade é o que se deixou de ganhar, caso a alternativa de menor rendimento seja selecionada.

É interessante destacar que o valor adicionado bruto (VAB)<sup>13</sup> por atividade econômica no PIB per capita no município de Resende referente à agropecuária é de R\$269,12/habitante e a sua participação no PIB é de 0,40% de acordo com os dados do ano de 2013. Ao se observar a série histórica do ano de 1999 até 2013 (IPEADATA, 2013) pode-se verificar que a agropecuária no município é pouco representativa. Percebe-se ainda, uma queda da participação da atividade no PIB municipal.

b) O cultivo de milho apresenta o total de 160 hectares de plantação resultando na produtividade de R\$1.456,25 (Um mil e quatrocentos e cinquenta e seis reais e vinte e cinco centavos) por hectare. Entretanto, estudos apresentam o custo operacional de 80%, ou seja, insumos, operações agrícolas e custos administrativos (REIS *et al.*, 2016).

Sendo assim, verifica-se que a rentabilidade da produção do milho encontra-se no valor de R\$291,25 (Duzentos e noventa e um reais e vinte e cinco centavos) por hectare. FURLANETO & ESPERANCINI (2010) afirmam que a produção com média tecnologia precisa ser readequada pelo segmento setorial em decorrência do aumento no preço dos insumos nos últimos anos. É uma cultura típica de pequenas lavouras e pode ser utilizado tanto para alimentação humana como animal. Entretanto, técnicas de preparo do terreno podem provocar degradação física, química e biológica do solo e provocar sua compactação, diminuindo a infiltração da água no solo e aumentando o escoamento superficial, provocando erosão.

c) O cultivo do feijão apresenta dados econômicos bem semelhantes ao cultivo do milho. Os dados apresentam um total de 53 hectares nessa atividade que resulta na produtividade de R\$1.471,70 (Um mil e quatrocentos e setenta e um reais e setenta centavos) por hectare. O cultivo do feijão é muito sensível ao meio ambiente e as condições climáticas. É plantado uma vez ao ano e seu cultivo exige nutrição e adubação mineral, controle de pragas e doenças, adubação orgânica e capina. O processo manual de colheita e armazenamento são etapas que interferem na qualidade do produto. O custo operacional também é semelhante ao do cultivo de milho resultando na rentabilidade de R\$294,34 (Duzentos e noventa e quatro reais e trinta e quatro centavos) por hectare.

---

<sup>13</sup> O valor adicionado bruto ou valor agregado bruto refere-se aos preços básicos em valores correntes das atividades econômicas.



d) O cultivo da cana de açúcar, segundo os dados do IBGE (2017) ocupou o total de 11 hectares. A cana de açúcar é um tipo de cultura semi perene por ter um ciclo produtivo extenso. O seu cultivo dura em torno de 06 anos, que permite um corte a cada ano, após os primeiros 18 meses. Entretanto, no primeiro ano o investimento é elevado no preparo do solo e plantio. Após a primeira colheita, é necessário fazer a manutenção das soqueiras que exige um investimento em menor escala, mas indispensável, assim como, a nutrição e controle de pragas. O corte manual para colheita tornou-se inviável pelos aspectos legais e ambientais, impondo a mecanização, mesmo aos pequenos produtores, que torna inviável para uma produção em pequena escala, levando à terceirização desta etapa. Outro fator importante são os riscos que interferem na atividade tais como, oscilações de preço, aumento de custos, intempéries climáticas, entre outros. Acrescenta-se ainda a esses custos o transbordo e o transporte. Segundo dados obtidos através da web na página da Assocana Departamento Agrícola tem-se o valor atualizado para 2017 de R\$ 249,00 (Duzentos e quarenta e nove reais) de lucro por hectare ao ano.

e) A plantação de eucalipto tem se difundido nos últimos anos em vários estados, inclusive no estado do Rio de Janeiro, como já se observa na bacia do Rio Sesmária. O eucalipto pode ser utilizado na construção civil a partir de 02 ou 03 anos do plantio; como lenha, carvão ou madeira a partir de 04 anos; na produção de celulose entre o ano 06 e 08 do plantio; a partir de 10 anos do plantio como matéria prima na produção de celulose. Segundo dados da Scot Consultoria em artigo publicado na Revista Agroanalysis, o custo de implantação, atualizado para 2017 é de R\$3.007,26 (Três mil e sete reais e vinte e seis centavos). A partir do segundo ano até o quinto ano, o custo de manutenção é de R\$947,17 (Novecentos e quarenta e sete reais e dezessete centavos). Os dados mostram que a rentabilidade da atividade considerando o valor da terra nua (VTN) seria de 6,9% ao ano para lenha, carvão e madeira e de 8% ao ano para produção de celulose. O VTN no município de Resende para o ano de 2017 é de R\$1.905,00 (Um mil e novecentos e cinco reais) o hectare, segundo o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Sendo assim, a rentabilidade da atividade seria de R\$131,45 (Cento e trinta e um reais e quarenta e cinco centavos) e R\$152,40 (Cento e cinquenta e dois reais e quarenta centavos) por hectare ao ano, respectivamente. Segundo dados do IBGE (2017) o município de Resende apresenta um total de 7.200 ha de eucalipto com uma produção de 110 toneladas de carvão vegetal e 6.500m<sup>3</sup> de lenha.

#### ***5.4.4 Aplicação financeira***

a) Considerando que o VTN no município de Resende para o ano de 2017 é de R\$1.905,00 (Um mil e novecentos e cinco reais) o hectare, se o proprietário fizesse a opção de vender um hectare de terra e aplicar esse valor na caderneta de poupança, a rentabilidade seria de R\$99,82 (Noventa e nove reais e oitenta e dois centavos) ao ano.

## **6. CONCLUSÕES**

### **6.1 Considerações gerais**

A hipótese na qual se baseou essa tese é de que a implantação do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) em bacias hidrográficas pode alavancar processos de requalificação fluvial, com a oferta do serviço de controle de inundações urbanas, através da recuperação da vegetação natural e reserva de áreas para a mobilidade fluvial e o amortecimento de vazões. Assim, estabeleceu-se como objetivo geral o estudo de avaliação (e viabilização) da proposta de implantação de um programa de Pagamento por Serviços Ambientais, associado ao controle de inundações, com vistas à recuperação e conservação das áreas de interesse ambiental de uma bacia hidrográfica, tomando o eixo do rio como referência, para, através de ações de reflorestamento/revegetação natural, promover o controle das enchentes.

Sendo assim, com base em conceitos econômicos e na legislação vigente, no que concerne ao Pagamento por Serviços Ambientais, sustentado por experiências de projetos bem sucedidos no Brasil, apesar de recentes, e ao redor do mundo, utilizou-se a Bacia do Rio Sesmária, no município de Resende, estado do Rio de Janeiro, como estudo de caso, para simulação e experimentação dos conceitos, chegando a um modelo de PSA. O município de Resende vem sofrendo as consequências de uma crescente ocupação urbana ao longo de anos, que ocorre de forma desordenada, menosprezando a legislação ambiental. Além disso, o município é vitimado pela devastação de sua vegetação natural – Floresta Mata Atlântica – para utilização de suas terras no cultivo do café, da cana de açúcar e, ultimamente, na criação de gado. Consequentemente, pode-se observar um alto nível de degradação na bacia como um todo, impactando diretamente os cursos d'água e provocando inundações na parte baixa da bacia. Contribui para isso um intenso processo de erosão, sedimentação e estrangulamento do espaço fluvial - estágio que foi ratificado através de diagnóstico realizado pela autora dessa tese em visitas de campo na bacia do Rio Sesmária. Nesse contexto, a população da cidade, localizada a jusante na bacia, poderia se beneficiar de serviços ambientais de redução de inundações, que poderiam ser providos pelos proprietários rurais, com vantagens para ambos os lados, tendo a Prefeitura como representante dos interesses da cidade e de sua população.

## 6.2 Considerações específicas

O estudo utilizou como base um evento de cheia ocorrido no ano de 2010, assemelhado a um evento de tempo de recorrência de 10 anos, compatível com uma magnitude de referência, em princípio, considerada adequada para avaliação do serviço ambiental de controle de inundações. Neste ano, ocorreram dois eventos, um em março e outro em dezembro, com características semelhantes, que provocaram grandes danos na bacia, principalmente na área urbana. Devido à disponibilidade de dados, inclusive com mapeamento de prejuízos realizados pela Defesa Civil, bem como de estudos realizados para esses eventos, decidiu-se optar pelo evento ocorrido em dezembro de 2010 como referência de cálculo para o PSA.

Inicialmente, realizou-se um estudo do regime de precipitações na bacia através de dados históricos oficiais no período de 1913 e 2012, para caracterização do evento ocorrido em dezembro de 2010. Confirmou-se, assim, que o evento apresentou um tempo de recorrência (TR) semelhante ao de 10 anos. Através de estudos já realizados na bacia para um evento de projeto desta magnitude, utilizaram-se os cenários simulados por modelagem matemática que apresentaram mapas de inundação para um cenário passado – antes da densidade urbana atual, um cenário atual e um cenário futuro - que mostra o comportamento da bacia em um evento de inundação depois da recuperação vegetal de topos de morros e mata ciliar, que seriam os serviços ambientais ofertados.

Através de dados fornecidos pelo AVADAN – Avaliação de Danos, realizado pela Defesa Civil do município - e do mapa de inundação para um TR de 10 anos, resultante dos estudos de JACOB (2013) na bacia do Rio Sesmaria, aferiu-se os prejuízos causados pelo evento, ratificando o estudo acima mencionado. Sendo assim, foi possível avaliar os danos causados às edificações e ao conteúdo, de acordo com a altura da lâmina d'água, como realizado no estudo de SALGADO (1995). Com a utilização de um fator multiplicador para totalizar o valor do prejuízo na bacia como um todo, incluindo danos ambientais, prejuízos econômicos e sociais, foi possível, com a utilização dos mapas de inundação, extrapolar os prejuízos para eventos com diferentes TRs. O trabalho aqui desenvolvido apresenta a valoração dos prejuízos para eventos com TR igual a 2 anos, 5 anos, 10 anos, 25 anos e 50 anos. Da mesma forma, ainda

utilizando os trabalhos acima citados, projetaram-se os prejuízos para o cenário simulado, considerando a prestação de serviços ambientais, que considerou a recuperação vegetal de topos de morros e mata ciliar. Utilizou-se a distribuição de Poisson para avaliar os danos causados pelos eventos num horizonte de 50 anos conforme a probabilidade de ocorrência integrada nesse tempo. O mesmo procedimento foi realizado para o cenário com a recuperação da vegetação. Com esses valores auferidos, avaliou-se a implantação do projeto de PSA para recuperação da vegetação nas áreas citadas, para o mesmo horizonte de tempo, o que permitiu avaliar os prejuízos evitados com a implantação do projeto de PSA na bacia do Rio Sesmaria. Esse valor dá a margem de folga com a qual se pode trabalhar para viabilizar o PSA. O trabalho apresenta ainda uma avaliação econômica das atividades que ocorrem na área rural, comparativamente ao retorno promovido pelo pagamento pela não utilização de áreas, em consequência da reserva de áreas para recuperação e manutenção florestal. Concluiu-se assim, que a implantação do projeto de PSA, no prazo de 50 anos, é viável, tendo em vista que o prejuízo evitado através do reflorestamento de topos de morros e mata ciliar na bacia do Rio Sesmaria foi de R\$1.304.817.946,00 (Um bilhão, trezentos e quatro milhões, oitocentos e dezessete mil e novecentos e quarenta e seis reais). Entretanto, o custo do projeto de PSA para um horizonte de 50 anos é de R\$270.374.841,48 (Duzentos e setenta milhões, trezentos e setenta e quatro mil, oitocentos e quarenta e um reais e quarenta e oito centavos). Sendo assim, pode-se afirmar que a implantação do projeto de PSA geraria um lucro, no longo prazo, para o município no valor de R\$1.034.443.104,52 (Um bilhão, trinta e quatro milhões, quatrocentos e quarenta e três mil, cento e quatro reais e cinquenta e dois centavos).

Por outro lado, cabe ressaltar que ocorrem benefícios econômicos adicionais, em decorrência da redução do risco de inundação na área urbana, como resultado de ações ambientais realizadas na parte alta da bacia. Esses benefícios incluem, entre outros, a valorização de áreas na parte urbana, elevando o valor do IPTU dos imóveis, e conseqüentemente, incrementando a receita do município. A preservação de áreas revegetadas também irá promover o aumento do repasse ao município do ICMS Verde, que funciona como uma compensação financeira aos municípios que apresentam comprometimento territorial em razão da existência de áreas ambientais protegidas. Destacam-se ainda, aqueles benefícios, difíceis de valorar, como a melhoria da qualidade do ar, purificação da água através do controle de erosões, renovação e fertilização do solo, polinização das culturas agrícolas, controle de pragas, dispersão de

sementes, manutenção da biodiversidade, moderação de temperaturas extremas, além do enriquecimento da estética e da beleza paisagística, entre outros.

## **6.3 Contribuições**

Esse trabalho contribui para discussão e viabilização de projetos de PSA, a partir da explicitação de benefícios oferecidos para a população da área, através da redução do risco de inundações, diminuindo os prejuízos ao município, bem como, conseqüentemente (embora não calculado aqui) valorizando o espaço urbano. Entende-se que pode não haver maneira de evitar a tendência da urbanização em todo o mundo e, portanto, os impactos nos sistemas naturais são inevitáveis. Os custos ambientais e os benefícios ecossistêmicos são explorados como forma de dimensionar a capacidade do ecossistema de interferir no bem estar da população. A utilização correta de indicadores biofísicos poderá apresentar uma abordagem clara para se tornar entendível as condições do serviço ambiental, bem como, a oferta de benefício para a sociedade, e assim, estabelecer uma visão utilitária” da natureza.

A inovação do trabalho vem também da utilização do PSA para controle de inundações, com a utilização de uma integral no tempo para avaliação dos prejuízos esperados, que, por sua vez, quando reduzidos ou evitados, se converte em recurso utilizável. A noção de prejuízo evitado viabiliza o PSA, na medida em que influencia diretamente as partes interessadas integrando instrumento econômico e política pública. A quantificação da vantagem econômica desses benefícios proporciona destaque para o serviço ambiental, principalmente quando comparados a um cenário no qual o serviço ambiental proposto está ausente.

Destaca-se ainda a multidisciplinaridade desse trabalho, integrando diversas áreas tais como, as ciências econômica, social, ambiental, além das diversas áreas: engenharia, gerenciamento e comunicação.

## **6.4 Recomendações**

A metodologia apresentada nesse trabalho poderá ser aplicada em outras bacias hidrográficas, respeitando as particularidades de cada uma. A replicação da metodologia, para diferentes condições de alagamento, diferentes usos da terra, e

diferentes públicos afetados poderá, seguramente, gerar informações adicionais e conhecimento para generalizar os achados aqui realizados. Os benefícios da redução do pico de fluxo e controle de inundações devem ser cuidadosamente avaliados para cada projeto em particular. As etapas apresentadas devem ser seguidas, avançando gradativamente para o alcance dos resultados. Adaptações podem e devem ser feitas, como resultado das particularidades locais, mas a ideia geral deve ser seguida.

A avaliação de como a recuperação florestal interfere na hidrologia deve ser compreendida em cada etapa do processo, com a finalidade de alcançar melhores resultados e adaptar o gerenciamento para as eventuais necessidades. Entende-se que os resultados irão variar de forma espacial e temporal. Sendo assim, as expectativas deverão ser ajustadas conforme a evolução de cada projeto particularmente.

O cenário com PSA, com a recuperação da floresta e respectivos serviços ecossistêmicos, pode reverter as tendências atuais de degradação das terras e consequentemente melhorar outros serviços críticos, como controle de erosão, diminuição na carga de sedimentos e controle de inundações. Esses podem ser avaliados através de indicadores biofísicos que contribuirão para avaliar também os benefícios dos investimentos ambientais, bem como a gestão e o bem estar social.

A integração entre o gerenciamento da bacia e da rede fluvial deve ocorrer de forma integrada e com objetivos semelhantes para garantia da efetividade dos serviços ecossistêmicos e reconhecer a importância da sociedade em todo o processo. A multidisciplinaridade também deve ser reconhecida como elemento chave num projeto de PSA. Sendo assim, a comunicação desempenha um papel imprescindível no sucesso do projeto, bem como, o monitoramento e o controle de custos.

A metodologia apresentada pode ser adaptada para as particularidades de cada local e favorecer a participação efetiva dos *stakeholders*. Sendo assim, acredita-se na possibilidade de replicação da metodologia em outras bacias hidrográficas.

Destacam-se abaixo alguns pontos que devem ser considerados como motivadores de projetos de PSA, bem como, para o convencimento dos *stakeholders* no envolvimento e apoio ao projeto.

- O RELATÓRIO SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (2016) da Fundação Brasileira de Desenvolvimento Social alerta que os eventos extremos tendem a provocar um aumento no custo social e econômico. Os impactos poderão ser maiores em áreas como agricultura, centros urbanos, geração de hidroeletricidade e biodiversidade. O relatório destaca ainda que a questão

ambiental é a mais preocupante para o planeta deixando para trás o risco de armas com poder de destruição em massa e a crise hídrica.

- O *GLOBAL RISKS REPORTS* (2016) divulgado pelo Banco Mundial destaca as ameaças mais importantes pelo novo modo de produção e consumo, como, migração involuntária em massa, fracasso na gestão climática e desastres ambientais causados por eventos extremos como secas e enchentes.
- Um estudo da UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO (2016) investiga os processos de desertificação em curso no estado do Rio de Janeiro associados às mudanças climáticas e alterações do uso e cobertura da terra que deverá ser usado como subsídio para a formulação de políticas públicas ambientais.
- No Brasil a inoperância do poder fiscalizatório favorece a ocupação de APPs colocando em risco a população. A falta de planejamento urbano contribui para riscos de desmoronamentos e inundações. Além disso, a ausência de saneamento básico contribui para a disseminação de vetores provocando doenças, tais como, dengue e zica vírus.
- Nos últimos anos, desenvolveu-se uma cultura no ambiente empresarial de investimentos socialmente responsáveis. As empresas sustentáveis geram valor para os acionistas no longo prazo. O Índice de Sustentabilidade Global da Dow Jones (DJSI) acompanha o desenvolvimento das ações das empresas líderes do mundo em termos econômico, ambiental e social. Esse índice funciona como uma referência para investidores que adotam a sustentabilidade como um aspecto importante nos seus portfólios. O interesse voluntário de empresas em melhorar sua imagem, ou que desejem mitigar os impactos causados por suas atividades ao meio ambiente, será relevante em todas as etapas de projeto de PSA.
- Merece destaque o Princípio Provedor-recebedor que incentiva a participação voluntária da sociedade nas ações ambientais estimulando um engajamento imprescindível para alcance dos resultados.
- Os custos de oportunidade foram estimados através do lucro líquido de atividades de exploração agrícola com base nos dados do IBGE (2016) e a disposição dos prestadores de aceitar como um preço justo o valor estimado para o pagamento por serviços ambientais por hectare. Em algumas atividades



abordadas nesse trabalho, verificou-se um valor negativo para o grau de compensação, significando que o projeto nem sempre compensa o custo de oportunidade. Entretanto, destaca-se que as atividades como as de milho e feijão, são lavouras temporárias que não garantem o fluxo monetário como o que se propõe nos projetos de PSA diante da entrega do produto. O cultivo desses produtos é sensível aos eventos climáticos, como seca ou chuvas intensas, colocando em risco a produtividade. Outro fator relevante é a disponibilidade de mão de obra para trabalhar na lavoura, em virtude do desenvolvimento industrial ocorrido na região nos últimos anos.

A criação de gado, outra atividade em destaque na bacia, além de enfrentar as adversidades relatadas, necessita de grande investimento nas áreas de pastoreio que se encontram, em grande parte, degradadas.

Além disso, as áreas sugeridas para a recuperação florestal são áreas protegidas pelo Novo Código Florestal, que deveriam legalmente ser preservadas.

Merece detalhamento, portanto, a discussão sobre como otimizar o uso do solo para garantir a atratividade da destinação de áreas para a realização de serviços ambientais. Mudanças de manejo de culturas ou criação intensiva podem ser aliados na oferta de terras para o PSA, sem perda de produção.

- O trabalho sugere a criação de um Comitê Gestor para gerenciar o projeto com o objetivo de tornar viável a gestão de questões emergenciais e de resolução complexa que poderão surgir ao longo do processo. A gestão compartilhada deverá convergir para ideais de aplicação de uma política pública justa e promotora de ganhos ambientais. As parcerias são fundamentais no apoio técnico em várias etapas. Além disso, conflitos são inevitáveis e é necessário manter a atenção na relação entre *stakeholders*.
- A autora desse trabalho acredita no incremento do mercado de carbono ao redor do mundo, bem como o crescimento do mercado de títulos verdes. A recuperação da vegetação da Mata Atlântica é fator preponderante para alavancar esses mercados. A demanda tende a crescer no círculo dos investidores que anseiam por investimentos que diminuam os riscos climáticos, e a tendência já apresenta uma demanda maior que a oferta nos mercados desenvolvidos e emergentes.

Sendo assim, conclui-se que o PSA tem apresentado crescimento significativo como instrumento econômico para a recuperação de áreas degradadas e suprimento dos serviços ambientais através da participação da sociedade civil. É um processo longo e trabalhoso de construção social e política, além de ser um desafio voltado para o ganho individual, mas que resulta na solução de problemas coletivos que ultrapassam fronteiras, bem como os seus benefícios na gestão do patrimônio ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADGER, W.N. et.al. **Advancing a political ecology of global environmental discourses**. Dev Change 32: 681-715, 2001.
- ADLER, M., POSNER, E., **Rethinking cost-benefit analysis**. Yale Law Journal, v. 109, p. 165-246, 1999.
- ALYWARD, B., BARBIER, E. B., **Valuing environmental functions in developing countries**. Biodiversity and Conservation 1:34-50, 1992.
- AMBEC, S., EHLERS, L., **Regulation via the Polluter-pays Principle**. Economic Journal, 126(593), 884–906, 2016. <https://doi.org/10.1111/eoj.12184>
- ARMSWORTH P. R., ROUGHGARDEN, J. E., **An invitation to ecological economics**. Trends in Ecology and Evolution 16:229-234, 2001.
- ARNT, R., **O que os economistas pensam sobre sustentabilidade**. Editora 43 Ltda. SP. 285p, 2010.
- BALMFORD, A. WHITTEN, T., **Who should pay for tropical conservation, and how could the costs be met?** Oryx 37 (2), 238-250, 2003.
- BALMFORD, A. et. al., **Economic reasons for conserving wild nature**. Science 297: 950-953, 2002.
- BAPTISTA , MARCELLE NARDELLI; VALCARCEL, RICARDO; MATEUS, FELIPE ARAUJO; MEDEIROS, WILLIAM SOARES; ANDRADE, FERNANDO CANTO DE. **Impact of Urbanization on the Hydrodynamics of a Water Table in a Floodplain with High Potential for Renaturation**. Water Resour Manage, DOI 10.1007/s11269-017-1731-5, 2017.
- BARBOSA, CHRISTINA, **Gerenciamento de Custos em Projetos**. 5ª edição, Rio de Janeiro, Editora FGV, ISBN 978-85-225-1373-4, 2014.
- BAWA, K.S., SEIDLER, R., et al., **Reconciling conservation paradigms**. Conservation Biology 18 (4), 859-860, 2004.
- BEECHIE, TIMOTHY J.; DAVID A.; SEAR JULIAN D.; OLDEN GEORGE R.; PESS JOHN M.; BUFFINGTON HAMISH; MOIR PHILIP; RONI MICHAEL M. POLLOCK; **Process-based Principles for Restoring River Ecosystems**. *BioScience*, Volume 60, Issue 3, Pages 209–222, <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.3.7>, 2010.
- BINGHAM, G., BISHOP, R., BRODY, M. BROMLEY, D. CLARK, E., COOPER, W., CONSTANZA, R., HALE, T., HAYDEN, G., KELLERT, S., NORGAARD, R., NORTON, B., PAYNE, J., RUSSEL, C., SUTTER, G., **Issues in ecosystem valuation: improving information for decision making**. Ecological Economics 14, 73-90, 1995.
- BIRDSEY, R.A., **Carbon accounting rules and guidelines for the United States Forest Sector**. Journal of Environmental Quality, Madison, v.35, p. 1518-1524, 2006.
- BISHOP, RICHARD C., AND THOMAS A. HEBERLEIN, "The Contingent Valuation Method." In Johnson, Rebecca L., and Gary V. Johnson, eds., Economic

Valuation of Natural Resources: Issues, Theory, and Applications, Boulder: Westview Press, 81–104, 1990.

BISHOP, J.; LANDELL-MILLS, N., **Forest Environmental Services: An Overview**. In: PAGIOLA, S.; BISHOP, J.; LANDELL-MILLS, N. (Eds.). **Selling Forest Environmental Services: Market-based Mechanisms for Conservation and Development**. 1ª ed. London: Earthscan, Cap.2, p.15-35, 2002.

BOCKSTAEL, N., FREEMAN, A., KOPP, R., PORTNEY P., SMITH V. **On measuring economic values for nature**. Environmental Science & Technology, v.34, p. 1384-1389, 2000.

BORGES, L.A.C., REZENDE, J.L.P., PEREIRA, J.A.A., COELHO JÚNIOR, L.M., BARROS, D.A., **Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira**. Ciência Rural, v.41, n.7, p. 1202-1210, ISSN 0103-8478, 2011.

BORN, R.H., TALOCCHI S., **Proteção do capital social e ecológico por meio de compensações por serviços ambientais**. Editora Peirópolis. Pp. 27-46, 2002.

BOYD, JAMES; RINGOLD, PAUL; KRUPNICK, ALAN; JOHNSTON, ROBERT J.; WEBER, MATTHEW A.; HALL, KIM. **Ecosystem Services Indicators: Improving the Linkage between Biophysical and Economic Analyses**. International Review of Environmental and Resource Economics, 8: 359–443, 2014.

BRAGA, R.A.P., **Avaliação dos instrumentos de políticas públicas na conservação integrada de florestas e águas, com estudo de caso na Bacia do Corumbataí – SP**. Tese. PPGERN, UFSC, 348p, 2005.

BRASIL, **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 05 de outubro de 1988. 35. Ed. atual. e ampl. – São Paulo: Saraiva, 2005.

BRASIL, **Decreto Federal n. 23.793**, de 23 de janeiro de 1934. Decreta o Código Florestal. Brasília, DF, 1934. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1930-1949/d23793.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d23793.htm). Acesso em: 20 jan. 2018.

BRASIL, **Lei 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Instituiu o Código Florestal Brasileiro. Brasília, DF, 1965. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm). Acesso em: 20 jan. 2018.

BRASIL, **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

BRASIL, Do meio ambiente: artigo 225.  
In: \_\_\_\_\_ **Constituição Federal de 1988**, Brasília, DF, 1988. Cap.6. BRASIL.

BRASIL, **Lei nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

BRASIL, **Medida Provisória 2.166-67**, de 24 de agosto de 2001. Altera os arts. 1º, 4º, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à Lei n. 4.771 de 1965: código florestal. Brasília, DF, 2001. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/mpv/2166-67.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/mpv/2166-67.htm). Acesso em: 20 jan. 2018.

BRASIL, **Lei nº 12.114**, de 9 de Dezembro de 2009. Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, altera os arts. 6º e 50 da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e dá outras providências.

BRASIL, **Lei Federal 12.651** de 25 de maio de 2012, Novo Código Florestal, Senado Federal, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pagamento por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília, DF; 275p. (Biodiversidade, 42) 2012.

BRAAT, L., DE GROOT, R.; **The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy**. Ecosyst. Serv. 1, 4–15, 2012.

BRAUMAN K., DAILY G., DUARTE T. et al., **The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services**. Annual Review Environment and Resources, v.32, pages 67-98, 2007.

BRIGANTE, J; ESPÍNDOLA, E.L.G. **Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: Rima, 278 p, 2003

BRIERLEY, G.J.; FRYIRS, K., **River Styles, a geomorphic approach to catchment characterization: implications for river rehabilitation in Bega catchment**. 1 ed. New South Wales, Australia. Environmental Management, 2000.

BROWN, G.G. et al., **Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais**. In: **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica** [recurso eletrônico]/Lucilia Maria Parron...[et al.], editores técnicos. Brasília, DF, Empraba, 2015.

BROWN, LESTER R., **The global economic prospect: New sources of economics stress**. Worldwatch Paper No. 20. Washington, D.C., Worldwatch Intitute, 56 pp, 1978.

BRUNDTLAND, GRO HARLEN et al., **Nosso Futuro Comum**. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Editora da Fundação Getúlio Vargas, RJ, 430p, 1988.

CAMPOS, R. P., OLIVEIRA, R. C. N., MIGUEZ, M. G., VERÓL, A. P., CASTRO, C. L., **The Sesmaria River – Challenges for preservation of freshwater**. *Efficient 2015 – PI 2015 Joint Specialist IWA International Conference*, (April), 1–9. <https://doi.org/ISBN: 9781780407722>, 2015.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. **Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo.** R. Bras. Ci. Solo, 27:935-944, 2003.

CÁNEPA E.M., **Economia da Poluição.** In: MAY, PETER H., LUSTOSA, M.C., VINHA, V DA., **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

CARDOSO, D.J., PARRON, L.M., FRANCISCON, L., **Carbono de biomassa em floresta nativa e sistemas florestais como indicador de serviços ambientais.** In: **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma mata atlântica.** PARRON, L.M. et al.; Embrapa, Brasília, DF, p. 84-91; 2015.

CASTILHOS, W., **Fenômenos Climáticos extremos e conectados.** [www.agencia.fapesp.br/fenomenos\\_climaticos\\_extremos\\_e\\_conectados\\_/16442/](http://www.agencia.fapesp.br/fenomenos_climaticos_extremos_e_conectados_/16442/); 2012.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotação de cultura e métodos de preparo das amostras.** R. Bras. Ci. Solo, 22:527-538, 1998.

CHEE, YUNG EN, **An ecological perspective on the valuation of ecosystem services.** Biological Conservation 120:549-565, 2004.

CHICHILNISKY, G, HEAL G., **Economics returns from the biosphere.** *Nature*, v.. 39, pages 629-630, ISSN:0028-0836, 1998.

CHICHILNISKY, G., **An axiomatic approach to choice under uncertainty with catastrophic risks.** Resource and Energy Economics 22:221-231, 2000.

CIRF – CENTRO ITALIANO PER LA RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE; *La riqualificazione fluviale in Italia: linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio.* 1ª ed. Nardini A & Sansoni G, editores. Venezia: Mazzanti, 2006.

COLCHESTER, M., **Salvaging nature: indigenous peoples and protected areas.** In: GHIMIRE, K., PIMBERT, M. (EDS.), **Social Change and Conservation**, Earthscan, London, pp. 97-130, 1997.

COELHO NETTO, A.L., **Catastrophic landscape evolution in a humid region (SE Brazil): inheritances from tectonic, climatic and land use induced changes.** *Supplementi di Geografia* 162(III): 21–48, 1999.

CORREIA, M.E.F.; ANDRADE, A.G. **Formação de Serapilheira e ciclagem de nutrientes.** In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. P. 197-225.

COSTANZA, R. et. al., **The value of world's ecosystem services and natural capital.** *Nature*, v.387 p.253-260, 1997.

COSTANZA, R., DE GROOT, R., SUTTON, P.C., VAN DER PLOEG, S., ANDERSON, S., KUBISZEWSKI, I., FARBER, S., TURNER, R.K. **Changes in the global value of ecosystem services**. *Global Environ. Change* 26, 152–158, 2014.

COSTANZA, R., KUBISZEWSKI, I., CORK, S., ATKINS, P.W.B., BEAN, A., DIAMOND, A., GRIGG, N., KORB, E., LOGG-SCARVELL, J., NAVIS, R., PATRICK, K. **Scenarios for Australia in 2050: a synthesis and proposed survey**. *J. Future Stud.* 19 (3), 49–76, 2015.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. **Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil**. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:323-332, 2008.

COSTA, S.S.T., **Introdução à Economia do Meio Ambiente**. Análise, v. 16, n. 2, p. 301-323, ago./dez., Porto Alegre, 2005.

COUDEL, EMILIE ; FERREIRA, JOICE ; AMAZONAS, M. ; ELOY, LUDIVINE ; HERCOWITZ, M ; MATTOS, L ; MAY, P ; MURADIAN, R ; PIKETTY, M G ; TONI, FABIANO . **A Ascensão do Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil: Negociando uma Governança Policêntrica**. *Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica*, v. 32/33, p. 6-15, 2015.

DALY, H., **Towards an environmental macroeconomics**. *Land Economics*, v. 67, p. 255-259, 1991.

DAILY G. C., **Nature's services**. Island Press, Covelo Califórnia. 1997.

DANTAS, M.E., **Controles naturais e antropogênicos da estocagem diferencial de sedimentos fluviais: Bacia do Rio Bananal (SP/RJ), médio vale do Rio Paraíba do Sul**. Dissertação de Mestrado. PPGG/IGEO/UFRJ. 142p, 1995.

DASGUPTA, P. et. al., **Economic pathways to ecological sustainability**. *BioScience* 50: 339-345, 2000.

DE CARLI, ALESSANDRO. **Il valore economico dei servizi ecosistemici connessi alle risorse idriche**. *Biologia Ambientale*, 31 (1): 1-8, 2017.

DELONG, M.D., AND M.C. THOMS. **An ecosystem framework for river science and management**. In: D.J. Gilvear, M.T. Greenwood, M.C. Thoms, and P.J. Wood, editors, *River science: Research and management for the 21st century*. Wiley Blackwell, West Sussex, UK. p. 11–36. doi:10.1002/9781118643525.ch2, 2016.

DE GROOT, R.S.; WILSON, M.A.; BOUMANS, R.M.J. **A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services**. *Ecological Economics*, Amsterdam, v.41, n.3, p. 393-408, 2002.

**Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**; Ano XLIII; nº 134 – Parte I, Sexta-feira, 21 de julho de 2017, p.31. Consultado em [sistema.fajerj.com.br/old/wp-content/uploads/2014/08/vtn-2017.pdf](http://sistema.fajerj.com.br/old/wp-content/uploads/2014/08/vtn-2017.pdf).

EATON, B. C.; EATON, D. F., **Microeconomia**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 1999.

Eco Debate Cidadania e Meio Ambiente – ISSN 2446-9394 consultado em 20 de janeiro de 2017. Matéria de Washington Castilhos, da Agência Fapesp, publicada em 07/11/2012.

**Ecosystems and Human well-being: Wetlands and water synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment.** World Resources Institute. Washington, DC. ISBN: 1-56973-597-2. [http://www.millenniumassessment.org/proxy/documento358\(2005\), 2005](http://www.millenniumassessment.org/proxy/documento358(2005), 2005).

EHRENFELD, D., **Why put a value on biodiversity?** In: Wilson, E.O. (Ed.), *Biodiversity*. National Academy Press, Washington DC, pp. 212-216, 1998.

EHRLICH P.R., EHRLICH A.H., *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House, New York, NY, 305 pp. 1981.

EHRLICH P., MOONEY H., 1983. **Extinction, substitution, and ecosystem services.** *BioScience*, **33**: 248-254.

ESPINOSA, H.R.M., **Desenvolvimento e meio ambiente sob nova ótica.** *Ambiente*, 7(1) 40-4, 1993.

FALKENMARK M., **Towards integrated catchment management: opening the paradigm locks between hydrology, ecology and policy – making.** *International Journal of Water Resources Development*, v. 20 page 275-282, 2004.

FERH, E., FALK, A., **Psychological foundations of incentives.** *European Economic Review* 46 (4), 687-724, 2002.

FERNANDES, M.M., **Valoração dos Serviços ambientais da floresta de Mata Atlântica associados à qualidade e quantidade da água na APA do Sana.** Tese. UFRRJ, 2009.

FILOSO S, BEZERRA MO, WEISS KCB, PALMER MA. **Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review.** *PLoS ONE* 12(8): e0183210. 2017.

FINDLAY, S. J. E M. P. TAYLOR. 2006, **“Why rehabilitate urban river systems?”** *Area*, v.38, pp.312-325.

FOLGER, R., **Distributive and procedural justice: combined impact of “voice” and improvement on experienced inequity.** *Journal of Personality and Social Psychology* 35, 108-119, 1977.

FOLKE, C. **Resilience (republished).** *Ecol. Soc.* 21:44. doi:10.5751/ ES-09088-210444. 2016.

FOREST TRENDS, GRUPO KATOOMBA, PNUMA. **Pagamento por Serviços Ambientais: Um manual sobre como iniciar.** UNION/Publishing Services Section/Nairobi, ISBN: 978-92-807-2925-2, 2008.

FOURIER, J.-B.-J. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de l'Institut de France VII.* 570–604 (*Mémoire sur Les Temperatures du Globe Terrestre et Des Espaces Planetaires* - greenhouse effect essay published in 1827 <http://www.academie->



sciences.fr/fr/activite/archive/dossiers/Fourier/Fourier\_pdf/Mem1827\_p569\_604.pdf. 1824.

FREEMAN, A.M., **The measurement of environmental and resources values: theory and methods.** Washington: Resources for the Future, 1993.

FURNALETO, FERNANDA DE PAIVA BADIZ; ESPERANCINI, MAURA SEIKO TSUTSUI. **Custo de produção e indicadores de rentabilidade da cultura do milho safrinha.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v.40, n.3, jul/set, 2010.

GARROD, G., WILLIS, K. **Methodological issues in valuing the benefits of environmentally sensitive areas.** Journal of Rural Studies v.15, p.111-117, 1999.

GATTO, M., DE LEO, G. **Pricing biodiversity and ecosystem services: the never-ending story.** BioScience, v. 50, p. 347-355, 2000.

GILVEAR, D.J., P. HUNTER, AND M. STEWARDSON. **Remote sensing: Mapping natural and managed river corridors from the micro to the network scale.** In: D.J. Gilvear, M.T. Greenwood, M.C. Thoms, and P.J. Wood, editors, River science: Research and management for the 21st century. Wiley Blackwell, West Sussex, UK. p. 171–196. doi:10.1002/9781118643525.ch9. 2016.

GOODLAND, R., **The concept of environmental sustainability.** Annual Review of Ecology and Systematics 26, 1-24, 1995.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Lei nº 650** de 11 de janeiro de 1983. Dispõe sobre a Política Estadual de Defesa e Proteção das Bacias Fluviais e Lacustres do Rio de Janeiro

GREN I. M. et.al. **Primary and secondary values of wetland ecosystems.** Environ Resour Econ, 4:55-74, 1994.

GUEDES, F. B. & SEEHUSEN, S. E., **Pagamento por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios.** Brasília: MMA, p. 272, 2011.

GRIMA, N., SINGH, S. J., SMETSCHKA, B., & RINGHOFER, L., **Payment for Ecosystem Services (PES) in Latin America: Analysing the performance of 40 case studies.** EcosystemServices, 17, 24–32, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.11.010>

GUSMAROLI, G.; BIZZI, S. & LAFRATTA, R., **“L’approccio della Riqualificazione Fluviale in Ambito Urbano: Esperienze e Opportunità.”** In: Acqua e Città - 4° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana, Venezia, Italia, June 2011.

HARDIN, G., **The tragedy of commons.** Science, 1968.

HARVEY, J., AND M. GOOSEFF. **River corridor science: Hydrological exchange and ecological consequences from bedforms to basins.** Water Resour. Res. 51:6893–6922. doi:10.1002/2015WR017617, 2015.

HASSAN, R.M.; SCHOLLES, R.; ASH, N. (Ed.) **MA conceptual framework.** In: MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the condition and trends working group.**

Washington, D.C.: Island Press, 2005. V.1. Disponível em: <http://www.maweb.org/documents/document.765.aspx.pdf>. Acesso em: 29/março/2014.

HAWKEN, P., LOVINS, A. B., LOVINS, L.H., **Natural Capitalism**. Earthscan Publication Ltd., London, UK., 1997.

HENDERSON, J. M., QUANDT, R. E., **Teoria Microeconômica: Uma Abordagem Matemática**, 1929. Tradução de Sérgio Goes de Paula; Supervisão Editorial de Antonio Zoratto Sanvincente. São Paulo: Pioneira, 1976.

HENRY-SILVA, G.G; CAMARGO, A.F.M. **Impacto do lançamento de efluentes urbanos sobre alguns ecossistemas aquáticos do município de Rio Claro (SP)**. Revista Ciências Biológicas e do Ambiente, 2(3): 317-330, 2000.

HILLBRECHT, R., **Economia Monetária**. São Paulo: Atlas, 1999.

HIROTA M, HOLMGREN M, VAN NES EH, SCHEFFER M. **Global resilience of tropical forest and savanna to critical transitions**. Science. 334(6053): 232±235. <https://doi.org/10.1126/science.1210657> PMID: 21998390 **54**. Newton AC, Cantarello, 2011.

HOLDREN J., EHRLICH P.R., **Human population and the global environment**. Am Sci 62: 282-292, 1974.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press. 2014. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416>

IPEADATA – URL: <http://www.ipeadata.gov.br>, data do download 28/04/2014.

JACOB, ANA CAROLINE PITZER, **Requalificação fluvial como instrumento de minimização do risco de inundações na Bacia do Rio Sesmaria**. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2013.

KANFER, R., SAWYER, J., et al., **Fairness and participation in evaluation procedures: effects on task attitudes and performance**. Social Justice Research 1 (2), 235-249, 1987.

KREILING, R.M., THOMS, M.C., RICHARDSON W.B. **Beyond the Edge: Linking Agricultural Landscapes, Stream Networks, and Best Management Practices**. Journal of Environmental Quality, 47: 42-53, 2018.

KUBISZEWSKI, I., COSTANZA, R., ANDERSON, S., SUTTON, P., **The future value of ecosystem services: Global scenarios and national implications**. Ecosystem Services, 26, 289-301, 2017.

KUZNETS, S., **Teoria do Crescimento Econômico Moderno: Taxa, estrutura e difusão**. 1 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 279p, 1966.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. IPCC Working Group III Contribution to AR5. Consultado em 22 de maio de 2014 em <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.

LAKE, P.S. **Resistance, resilience, and restoration.** Ecological Management & Restoration 14:20–24. doi:10.1111/emr.12016, 2013.

LAL, R., **Enhancing ecosystem services with no-till.** Renewable agriculture and food systems, v.28, n.2, p.102-114, 2013.

LAVELLE, P.; DECAENS, T; AUBERT,M.; BAROT,S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA,P.; ROSSI, J.P., **Soil invertebrates and ecosystem services.** European Journal of Soil Biology, Paris, v.42, p. S3-S15, 2006.

LAVELLE,P.; DUGDALE,R.; SCHOLE,S,R.; BERHE, A.A.; CARPENTER, C.; CODISPOTI L.; IZAC, A.; LEMOALLE, J.; LUIZAO, F.; SCHOLE,S, M.; TREGUER, P.; WARD, B. Nutrient cycling In: HASSAN, R. M.; SCHOLE,S, R.; ASH, N. (Ed.) **Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the condition and trends working group.** Washington, D.C.: Island Press, 2005. V.1. Disponível em: <http://www.maweb.org/documents/document.281.aspx.pdf>. Acesso em 29/março/2014.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMOFF, S. & EUCLIIDES, V.P.B. **Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado.** R. Bras. Ci. Solo, 28:415-423, 2004.

LEÓN C., BAUCHE P., GRAF S., CORTINA S. AND FRAUSTO J. M., **Replicating Policy that Works: Payment for Environmental Services in Mexico.** The solution journal, 3,5, p. 82- 88, 2012. <http://www.thesolutionsjournal.com/node/1174>

LIKENS, G.E., **The ecosystem approach: Its use and abuse.** Ecology Inst., Oldendorf/Luhe, Germany. 1992.

LIMA, LUIZ HENRIQUE, **Controle do Patrimônio Ambiental Brasileiro.** Rio de Janeiro. Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2001.

LOVELOCK, JAMES E.,**Gaia: A New Look at Life on Earth.** New York, Oxford University Press, 157 pp, 1979.

LLOYD, WILLIAN FORSTER. *Two Lectures on the Checks to Population.* Oxford, Printed by S. Collingwood, Printer to the University, for the Author. Sold by J. H. Parker, Oxford; and by J. G. and F. Rivington, London, 1833. Scholar's Choice Edition, 82p. ISBN: 1294937243, 9781294937241, 2015.

LUDERITZ, V., SPEIERL, T., LANGHEINRICH, U., VOLKL, W., GERSBERG, R.M., **Restoration of the Upper Main and Rodach rivers – the success and its measurement.** Ecological Engineering 37, 2044–2055, 2011.

LUSTOSA, M. CECÍLIA J., **Flexibilizando o trade-off entre competitividade e meio ambiente: elementos para uma política ambiental.** Economia do Meio Ambiente. NIEAD. Rio de Janeiro, 2001.

MACHADO, PAULO AFONSO, **Direito Ambiental Brasileiro.** 18ª. ed. São Paulo: Malheiros, 2010.

MAGNUSZEWSKI P, OSTASIEWICZ K, CHAZDON R, SALK C, PAJAK M, SENDZIMIR J, et al. **Resilience and Alternative Stable States of Tropical Forest Landscapes under Shifting Cultivation Regimes**. PLoS ONE 10(9): e0137497. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137497> PMID: 26406907, 2015.

**Marco regulatório sobre pagamento por serviços ambientais no Brasil** /Organização de PRISCILLA SANTOS; BRENDA BRITO; FERNANDA MASCHIETTO; GUARANY OSÓRIO; MÁRIO MONZONI. – Belém, PA: IMAZON; FGV. GVces, 2012. 76p. ISBN 978-85-86212-45-1.

MARENGO, J., **Água e Mudanças Climáticas**. Avançados. V. 22 p. 83-96, 2008.

MARENGO, J. A., NOBRE, C. A., SELUCHI, M. E., CUARTAS, A., ALVES, L. M., MENDIONDO, E. M., OBREGON, G., SAMPAIO, G. **A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo** [*The drought and the 2014-2015 water crisis in São Paulo*]. *Revista USP*, v. 106, p.31–44, 2015.

MARTINEZ-ALIER J., SCHLUPMANN K., **Ecological Economics: energy, environment and society**.287pp. Oxford: Blackwell, 1990.

MARTINI, JÚNIOR LUIZ CARLOS DE, GUSMÃO, ANTONIO CARLOS FREITAS DE, **Gestão Ambiental na Indústria**. Rio de Janeiro. Editora Destaque, 2003.

MARTINS, R.C., FELICIDADE N., **Limitações da Abordagem Neoclássica como suporte teórico para a gestão de recursos hídricos no Brasil**. In: FELICIDADE N., MARTINS R. C., LEME A.A. **Uso e gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Ed. Rima, São Carlos, 2001.

MASCARENHAS, F.C.B., MIGUEZ, M.G.,**Urban Flood Control through a Mathematical Flow Cell Model**.Water International, Vol. 27, N. 2, June, 2002.

MAY, PETER H., LUSTOSA, M.C., VINHA, V DA,**Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

MAY, PETER H.,**Economia Ecológica e o Desenvolvimento Equitativo no Brasil**. In: MAY,PETER H. (Ed.) **Economia Ecológica: Aplicações no Brasil**. Rio de Janeiro: Campus, Cap. 1, p. 1-20, 1995.

MELO, A.C.G.; DURIGAN, G.,**Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares noVale do Paranapanema, SP, Brasil**. Scientia Forestalis,n.71, p.149-154, 2006.

MENGER, CARL (1871). *Grundsätze der Volkswirts Chaftslehre*. Traduzido para o português: **Princípios de Economia Política**. São Paulo: Nova Cultural, 1988.

MESSNER, F., PENNING-ROWSELL, E.C., GREEN, C., *et al.*, **Evaluating Flood Damages: Guidance and Recommendations on Principles and Methods**. Floodsite Report T09-06-01, 2007.

MIGUEZ, M.G., **Modelação Matemática de Grandes Planícies de Inundação através de um Esquema de Células de Escoamento com Aplicação ao Pantanal Matogrossense**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Engenharia Civil, Rio de Janeiro,

RJ, Brasil. 1994.

MIGUEZ, M.G., **Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas**. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

MIGUEZ, M. G., MASCARENHAS, F. C. B., VERÓL, A. P., **MODCEL: A Mathematical Model for Urban Flood Simulation and Integrated Flood Control Design**. In: *Acqua e Città - 4° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana*, Veneza, Italia, Junho de 2011.

MIGUEZ, M.G; VERÓL, REZENDE, O.M., **Drenagem urbana do projeto tradicional a sustentabilidade**. Elsevier, Ed. Campus, 1ª. Edição, 384p., 2015a.

\_\_\_\_\_, MIGUEZ, M.G; VERÓL, A.P; SOUSA, M.M. de; REZENDE, O.M., **Urban Floods in Lowlands—Levee Systems, Unplanned Urban Growth and River Restoration Alternative: A Case Study in Brazil**. Sustainability 11068-11097, ISSN 2071-1050, 2015b.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, Island Press, Washington, DC, 2005.

MILLER, ROGER LEROY, **Microeconomia: Teoria, Questões e Aplicações**, 1943. Tradutora SARA GEDANKE; Revisores Técnicos MARCO ANTONIO SANDOVAL DE VASCONCELLOS, HERON CARLOS ESVAEL DO CARMO. São Paulo: McGraw-hill do Brasil, 1981.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Consulta em 21/07/2014. <http://www.proambiente.cnpm.embrapa.br/conteudo/introducao.htm>; 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Consulta em 26/03/2017. <http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/cadastro-ambiental-rural>; 2017.

M. PORTER, C.LINDE. *Toward a new conception of the environment – competitiveness relationship*. *Journal of Economics Perspectives*, vol. 9, p. 97 – 118, 1995.

MISSRIE, M., NELSON, K., **Direct Payments for Conservation: Lessons from the Monarch Butterfly Conservation Fund**. College of Natural Resources. Research Summary Paper No. 8. University of Minnesota, Minneapolis, 2005.

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C. F., Rdeciclaje de nutrientes. In: GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G.H. (Ed.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ediciones LUR, 2002. P. 167-191.

MOORE F.C. & DIAZ D. B., **Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy**. *Nature Climate Change* 5, 127-131, 2015.

MORA, C.; TITTENSOR, D.P.; ADL, S.; SIMPSON, A.G.B; WORM, B. **How many species are there on Earth and in the Ocean?** Research Article/ published 23 Aug 2011 PLOS Biology. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>.

MOTTA, RONALDO SEROA DA, **Economia Ambiental**. Rio de Janeiro. Editora FGV, 2007.

MUÑOZ-PINA, C.A. et.al., **Paying for the hydrological services of Mexico's forests: analysis negotiation and results**. Ecological Economics 65(4): 725-736, 2008.

MUÑOZ et al.; **Natural and Sexual selection in a wild insect population**. Science. Vol. 328, n.5983. pp. 1269-1272, 2010.

MURTOUGH, G., Aretino, B., Matysek,A., **Creating Markets for Ecosystem Services**. Productivity Commission Satff Research Paper, AusInfo, Canberra, 2002.

NAGEM, FERNANDA RAQUEL MAXIMIANO, **Avaliação econômica dos prejuízos causados pelas cheias urbanas**. Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, RJ, 2008.

NARDINI, A., **Recuperación fluvial: conceptos segun CIRF**. Apresentação realizada na UFRJ em de 30 de janeiro de 2011.

NARDINI A., PAVAN S., **River restoration: not only for the sake of nature but also for saving money while addressing fl ood risk. A decision-making framework applied to the Chiese River (Po basin, Italy)**. *J. Flood Risk Management*, DOI: 10.1111/j.1753-318X.2011.01132.x, 2012.

**NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Risks Assessment in the Federal Government: Managing the Process**. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1983.

NEDKOV, STOYAN; BURKHARD, BENJAMIN. **Flood regulating ecosystem services—Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria**. Ecological Indicators **21**, 67–79, 2012.

NEWTON AC, CANTARELLO E. **Restoration of forest resilience: An achievable goal?** New Forests. 2015; 46 (5±6): 645±668.

NIESTEN, E., RICE, R.,**Sustainable forest management and conservation incentive agréments**. International Forestry Review 6 (1), 56-60, 2004.

NOBRE, C., **Revista O Globo Amanhã**; Adaptar para Sobreviver; p. 12. 25/fevereiro/2014. Citação referente ao Climatologista Carlos Nobre, Secretário do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e membro do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), 2014.

NORTON, B.G., **Evaluating ecosystem sates: two competing paradigms**. Ecological Economics 14, 113-117, 1995.

NOVAES, A., **Os caminhos antigos no território fluminense**. Disponível em [www.institutocidadeviva.org.br/inventarios/sistema/wp\\_content/uploads/2008/03/textos\\_autorais\\_sem\\_correcao.pdf](http://www.institutocidadeviva.org.br/inventarios/sistema/wp_content/uploads/2008/03/textos_autorais_sem_correcao.pdf)., 2008.

NUSDEO, ANA MARIA DE OLIVEIRA, **Pagamento por Serviços Ambientais: sustentabilidade e disciplina jurídica**. São Paulo: Atlas, 2012.

ODUM, EUGENE P. (1913), **Ecologia**. [supervisão da tradução Ricardo Iglesias Rios; tradução Christopher J. Tribe]. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, ISBN 978-85-277-0061-0, 2009.

OJEA, E., ORTEGA, J.M., CHIABAI, A. **Defining and classifying ecosystem services for economic valuation: The case of forest water service**. Environmental Science and Policy 19: 1-15, 2012.

OLIVEIRA, R.C.N. **Caracterização das áreas de domínio da união e da faixa marginal de proteção em rios federais apoiado por modelação matemática: estudo de caso: Médio Rio Paraíba do Sul**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental; POLI/UFRJ, 2011.

OLIVEIRA, R.C.N. *et. al.*, **Redução da Produção de Sedimentos e Recuperação de Áreas Degradadas Através da Implantação de Novos Modelos de Gestão das Faixas Marginais. Estudo de Caso – Rio Sesmaria**. X ENES, Foz do Iguaçu, 2012.

OLIVEIRA, R.C.N., Processo n. 2012.51.09.000141-2. Laudo Pericial. **Intervenções realizadas no leito e margens do Rio Sesmaria e Rio Paraíba do Sul**. Justiça Federal do Rio de Janeiro. 2014.

OLIVEIRA, R. C. N.; CAMPOS, R. P.; CASTRO, C. L.; **Political hydrology**. *Efficient 2015 – PI 2015 Joint Specialist IWA International Conference*, (April). <https://doi.org/ISBN: 9781780407722>, 2015.

OLIVEIRA, R. C. N.; CAMPOS, R. P.; CASTRO, C.; **Projeto orla no estado do Rio de Janeiro**. VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, p. 49, 2015. Disponível em: <[http://www.aprh.pt/ZonasCosteiras2015/pdf/4B1\\_Artigo\\_043.pdf](http://www.aprh.pt/ZonasCosteiras2015/pdf/4B1_Artigo_043.pdf)>.

OLIVEIRA, R. G., **Economia do Meio Ambiente**. In: PINHO, D. B.; VASCONCELLOS, M. A .S. (Orgs.). *Manual de economia*. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 1999.

OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; REGAZZI, A.J. & FIGUEIREDO, M.S. **Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro Latossolos brasileiros**. R. Bras. Ci. Solo, 20:509- 515, 1996.

OLIVEIRA, VICENTE DE PAULO SANTOS DE; **Modelo para geração de séries sintéticas de precipitação**. Viçosa: UFV, 2003.

OTAN - **Climate change, international security and the way to Paris 2015**; Philippe VITEL (France) Special Rapporteur. [www.nato-pa.int](http://www.nato-pa.int) 11 October 2015.

PAAVOLA J., **Interdependence, pluralism and globalism**. Oxon, Routledge, 143-158, 2005.

PAGIOLA, S., CARRASCOSA, H. VG., TAFARELLO, D. **Experiencias de pagamentos por servicos ambientais no Brasil**. Sao Paulo : SMA/CBRN, 274p, 2012.

PALMER K., OATES W. E., PORTNEY P. R., **Tightening environmental standards: the benefit-cost or the no-cost paradigm?** Journal of Economic Perspectives, v.9, n.4, p.119-132, 1995.

PALMER, M. A., **Reforming watershed restoration: Science in need of application and applications in need of science.** Estuaries and Coasts. <https://doi.org/10.1007/s12237-008-9129-5>, 2009.

PALMER, M.A., K.L. HONDULA, AND B.J. KOCH. **Ecological restoration of streams and rivers: Shifting strategies and shifting goals.** Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 45:247–269. doi:10.1146/annurev-ecolsys-120213-091935, 2014.

PANIZZUTTI, N. P., **Resende, cidade sesquicentenária.** 2<sup>a</sup> edição, Editora AMAN, Resende, RJ, Brasil, 2010.

PCAST (President's Committee of Advisors on Science and Technology), **Teaming with life: Investing in Science to Understand and Use America's Living Capital.** Available from URL: <http://www.ostp.gov/environment/html/teamingcover.html>, 1998.

PEARCE,D., MARKANDIA, A., BARBIER,E., **Blueprint for a green economy.** 5<sup>a</sup> edição, London: Earthscan Publications, 1989.

PENNING-ROWSEL, E.C. and CHATTERTON, J.B., **The benefits of flood alleviation: A manual of assessment Techniques.** Saxon House, Farnborough, England, 1977.

PERSKY, J., **Retrospectives: the ethology of Homo economicus.**The Journal of Economic Perspectives 9 (2), 221-232, 1995.

PETERS, J., **Transforming the integrated conservation and development project (ICDP) approach: observations from the Ranomafana National Park Project, Madagascar.** *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 11 (1), 17-47, 1998.

PETERSEN P. B., **Avances en la creación de mecanismos locales de pago por servicios ambientales a través de fondos cocrurentes,** CONAFOR (presentación pdf), 2012.

PFAFSTETTER, O., **Chuvas Intensas no Brasil,** 2a . edição, Rio de Janeiro, DNOS, 1982, 426p.

PIGOU, A.C.; ***The Economics of welfare (1920).*** Fourth Edition, Palgrave Macmillan, UK; ISBN: 978-0-230-24931-8. Copyright 2013.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V., **Ciclagem de nutrientes em florestas nativas.** In: GONÇALVES, J.L.; BENEDETI, V. (Ed.) Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000. P. 287-308.

PORTER, M.E., LINDE, C. VAN DER, **Green and competitive: ending the stalemate.** Harvard Business Review, Harvard, set-out., pp. 120-134, 1995.

PORTNEY, P.R., **The contingent valuation debate: why economists should care.** Journal of Economic Perspectives, v.8, p. 3-17, 1994.



- PORTUGAL, A. F., COSTA, O.D.V., DA COSTA, L.M., **Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira**, R. Bras. Ci. Solo, 34:575-585, 2010
- PRIA, A.D., DIEDERICHSEN, A., KLEMM, C., **Payment for Ecosystem Services. A strategy for environmental conservation in agricultural region of Brazil**. Sustentabilidade em Debate - Brasília, v. 4, n. 1, p. 317-340, jan/jun 2013.
- PRUSKI, F.F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA, E.F.; BALBINO, L.C.; FERREIRA, P.A.; WERLANG, L. & CARVALHO, L.T., **Infiltração da água num Latossolo Roxo**. Pesq. Agropec. Bras., 32:77-84, 1997
- RAMEZOV, N.P., **The method of studying the biological cycle of elements in forest**. Pochvovedenie, v.1, p.71-79.1959.
- RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. **Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo**. R. Bras. Ci. Solo, 31:1609-1623, 2007.
- REIS, M.G. F.; BARROS, N.F., **Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto**. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; *Relação solo: Eucalipto*. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. P. 265-301.
- Relatório da aplicação de metodologia custo/benefício (*Economics of climate adaptation*)**, Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces), Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas (FGV-EAESP); novembro, 2014.
- RICO GARCÍA-AMADO, L., RUIZ PÉREZ, M. & BARRASA GARCÍA, S. **Motivation for conservation: Assessing integrated conservation and development projects and payments for environmental services in la sepultura biosphere reserve, mexico, chiapas**. *Ecological Economics* 89, 92–100, 2013.
- RIGOTTI, J.A.; POMPEO, C.A., **Estudo de Revitalização de Cursos D'água: Bacia Hidrográfica do Futuro Campus UFSC**. In: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió, AL. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Porto Alegre/RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2011.
- RILEY, A. L., 1998, **Restoring Streams in Cities, a Guide for Planners, Policymakers, and Citizens**. Washington D.C., USA: Island Press.
- ROCHA LEÃO, O.M., **Evolução regressiva da rede de canais por fluxos de água subterrânea em cabeceiras de drenagem: bases geo-hidroecológicas para recuperação de áreas degradadas com controle de erosão**. Tese de Doutorado. PPGG/IGEO/UFRJ. 247p, 2005.
- ROCKSTROM, J., **Making the best of climatic variability: options for upgrading rainfed farming in water scarce regions**. *Water Science and Technology*, v.49, pages 151-156, 2004.
- ROMEIRO, A. R., **Economia ou Economia Política da Sustentabilidade**. In: MAY, PETER H., LUSTOSA, M.C., VINHA, V DA. **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

RUNYAN C, D'ODORICO P.; **Irreversibility and Ecosystem Impacts**. In: Global deforestation. Cambridge: Cambridge University Press; pp. 103±144. 2016.

RUTHERFURD, I. D.; JERIE, K. AND MARSH, N., **A Rehabilitation Manual for Australian Streams Volume I**. Land and Water Resources Research and Development Corporation: Canberra. 2000.

SAGOFF, M., **Aggregation and deliberation in valuing environmental public goods: a look beyond contingent pricing**. Ecological Economics, v. 24, p. 213-230, 1998.

SALGADO, JOÃO CARLOS MATTOSO, Avaliação econômica de projetos de drenagem e de controle de Inundações em bacias urbanas. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, M.Sc., Engenharia Civil, 1995.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M. & BROCH, D.L. **Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul**. R. Bras. Ci. Solo, 32:11-21, 2008.

SALZMAN, J. et.al., **Protecting ecosystem services: Science, economics and law**. Stanford Environmental Law Journal 20:309-332, 2001.

SANDRONI, P., **Novo Dicionário de Economia**. São Paulo: Editora Best Seller, 1994.

SANTOS, P. et. al., **Marco Regulatório sobre Pagamento por Serviço Ambiental no Brasil**. FGV – EAESP, 2012.

SATO, A. M.; ABDALAD, M.A.; SILVA, A. P. A. *et al.*, **Bacia experimental do rio Sesmarias (médio vale do rio Paraíba do Sul): influência do eucalipto nos processos hidrológicos e erosivos**. *Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas*, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté, Brasil, 2009.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, BA : Editus, 2002. 293p.

SCHMIDT-SOLTAU, K., **Conservation related resettlement in Central Africa: environmental and social risks**. Development and Change 34 (3), 525-551, 2003.

SECRETARIA DO ESTADO DE AMBIENTE;  
<http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=164974>. Consultado em 27/03/2017.

SEIFFERT, M.E.B., **ISO 14.001 Sistema de gestão ambiental: implantação objetiva e econômica**. 3 ed. 4. Reimpressão. São Paulo: Atlas, 2010.

SELLES, I. M.; VARGAS, A. V.; RIKER, F.; BAHIANSE, G.; PAES RIOS, J.; CUNHA, L.; CAMPAGNANI, S.; MATTA, V.; BINDER, W.; ARAÚJO, Z., **Revitalização de rios – orientação técnica**. Rio de Janeiro: SEMADS. 78p. 2001.

SETO, K.C., FRAGKIAS, M., GUNERALP, B., REILLY, M.K., **A meta-analysis of global urban land expansion.** Plos One 6, 9, 2011.

SHIKI, S., SHIKI, S.F.N., **Os desafios de uma Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais: lições a partir do caso do Proambiente.** Sustentabilidade em Debate - Brasília, v. 2, n. 1, p. 99-118, jan/jun 2011.

SHONO, K., DAVIES, S.J. & CHUA, Y.K. **Performance of 45 native tree species on degraded lands in Singapore.** J. Trop. For. Sci. 19(1):25-34, 2007.

SHYAMSUNDAR, P., KRAMER, R. A., **Tropical Forest Protection: an empirical analysis of the costs borne by local people.** Journal of Environmental Economics and Management 31 (2), 129-144, 1996.

SILVA A.B. et al., **Estoque de serapilheira e fertilidade do solo em pastagens degradada de *branchiaria decumbens* após implantação de leguminosas arbustivas e arbóreas forrageiras.** Revista Bras. Ci. Solo, 37. 502-511, 2013.

SILVA, T.M.D.; MONTEIRO, H.D.S.; CRUZ, M.A. *et al.*, **Anomalias de drenagem e evolução da paisagem no médio vale do rio Paraíba do Sul (RJ/SP).** Anuário do Instituto de Geociências, 29(2), 210-224, 2006.

SIMPSON, R.D., **Economic Analysis and ecosystems: some concepts and issues.** Ecological Applications 8, 342-349, 1998.

SINDEN, J.A., **A review of environmental valuation in Australia.** Review of Marketing and Agricultural Economics 62: 337-368, 1994.

SMITH, ADAM (1776). **A Riqueza das Nações.** ISBN-10:8546900985; ISBN-13:978-8546900985. Editora: WMF Martins Fontes; Edição: 3ª, 2016, 1400p.

SMITH, D. I., **Flood Damage Estimation: A Review of Urban Stage-Damage Curves and Loss Function.** Water SA, v. 20, n. 3, pp. 231-238, 1994.

SMITH, S.W.; PETRERE, JR. **Caracterização limnológica da bacia de drenagem do Rio Sorocaba, São Paulo, Brasil.** Acta Limnologica Brasiliensia, 12: 173-186, 2001.

SMITH, V. KERRY; JOHN V. KRUTILLA. **Explorations in Natural Resource Economics.** Baltimore: John Hopkins University Press.

SOMMERVILLE, M., *et al.*, **The role of fairness and benefit distribution in community-based Payment for Environmental Services interventions: A case study from Menabe, Madagascar.** Ecological Economics 69, 1262-1271, 2010.

SOTCHAVA, V. B., **Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre.** 23p. (Biogeografia, 14). São Paulo: USP, 1978.

SPASH, C. L., **Ethics and environmental attitudes with implications for economic valuation.** Journal of Environmental Management 50, 403-416, 1997.

STEVENS, T.H., MOORE, T.A., GLASS, R., **Measuring the existence value of wildlife: reply.** Land Economics 69, 309-312, 1993.

SUTTON P. C.; ANDERSON S.L.; COSTANZA R.; KUBISZEWSKI, I.; **The ecological economics of land degradation: Impacts on ecosystem service values** Ecological Economics; Volume 129, Pages 182-192. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.06.016>, 2016.

SWITZER, G.L.; NELSON, L.E., **Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.)plantation ecosystems: the first twenty years**. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.36, n. 143-147, 1972.

THIBAUT, J., WALKERS, L., **A Theory of Procedure**. California Law Review 66 (3), 541-566, 1978.

THOMAS, JANET M., CALLAN, SCOTT J., **Economia Ambiental: fundamentos, políticas e aplicações**. [Tradução Antonio Carlos Lot, Marta Reyes Gil Passos]. – São Paulo: Cengage Learning, 2012.

TIETENBERG, T., **Environmental and Natural Resource Economics**. Harper Collins Publishers, New York, USA. 1992.

TUCCI, C.E.M., **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

TURNER R.K. et. al., Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. Ecol Econ, 35:7-23, 2000.

TURNER R.K. & DAILY G.C., **The ecosystem services framework and natural capital conservation**. Environ Resource Econ, 39:25-35, 2008.

TURNER R.K. et. al., **Valuing nature: lessons learned and future research directions**. Ecol Econ 46: 493-510, 2003.

UNESCO, **World Water Assessment Programme**; Disponível em [http://www.unesco.org/new/pt/brasil/about-this-office/single-view/news/urgent\\_need\\_to\\_manage\\_water\\_more\\_sustainably\\_says\\_un\\_report](http://www.unesco.org/new/pt/brasil/about-this-office/single-view/news/urgent_need_to_manage_water_more_sustainably_says_un_report); Em 22/nov/2015.

UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. **Kyoto Protocol**, 1997. Disponível em <http://www.unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf#page=12>.

VALCARCEL, R & SILVA, Z.S, **Eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica**. Revista Floresta e Ambiente. Instituto de Florestas/UFRRJ. Seropédica, Rio de Janeiro, 4(68-80):154p. 1997.

VALCARCEL R. & D'ALTERIO C.F.N., **Medidas físico-biológicas de recuperação de áreas degradadas: avaliação das modificações edáficas e fitossociológicas**. Floresta e Ambiente, Vol. 5(1):68-88, jan./dez. 1998.

VANNINI, R., **Dizionario di Economia e Finanza**. Italy, 2012.

VARIAN, HAL R., **Microeconomia: Princípios Básicos**. Tradução da 4. Ed. Americana Ricardo Inojosa. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

VATN, A., BROMLEY, D., Choices without prices without apologies. *Journal of Environmental Economics and Management*, v.26, p. 129-148, 1994.

VATN, A., **An Institutional Analysis of Payments for Environmental Services.** *Ecological Economics* 69 (6), 1245-1252 (this issue), 2010.

VEIGA NETO, F.C., **A construção dos mercados dos serviços ambientais e suas implicações para o desenvolvimento sustentável no Brasil.** Tese. UFRRJ, 2008.

VERÓL, ALINE PIRES, **Requalificação Fluvial Integrada ao Manejo de Águas Urbanas para Cidades mais Resilientes.** Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

VIEIRA da SILVA,R.C.; WILSON-JR.,G., **Hidráulica Fluvial**, v. II, COPPE/UFRJ, 256 p. Rio de Janeiro, 2005.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD JUNIOR, R.L., **Nutrient cycling in moist tropical forest.** *Annual Review of Ecology and Syestematics*, Palo Alto, v.17, n.1, p.137-167,1986.

WAYLEN K.A., HASTINGS E.J., BANKS E.A., HOLSTEAD K.L., IRVINE R.J., BLACKSTOCK K.L., **The need to disentangle key concepts from ecosystem-approach jargon.** *Conservation Biology*, **28**: 1215-1224. 2014.

WESTMAN W., **How much are nature's services worth?.** *Science* 197:960-964, 1977.

WILKS, L.C., **A survey of the contingent valuation method.** Resource Assessment Commission, RAC Research Paper n. 2, Australian Government Publishing Service. Canberra, Australia, 1990.

WUNDER, S., **Payments for environmental services: Some nuts and bolts.** Jakarta: Center for International Forestry Research, p 24. (CIFOR Occasional Paper.) v.42, 2005.

WUNDER, S., ENGEL, S., *et al.*,**Taking stock: a comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries.** *Ecological Economics* 65 (4), 834-852, 2008.

ZANOBETTI, D.; LORGERÉ, H., **Le Modele Mathématique du Delta du Mékong.** La Houille Blanche, 1968.

## **ANEXOS**

### **ANEXO I**

#### **LEGISLAÇÃO QUE REGULA O PSA NOS ESTADOS BRASILEIROS**

ESTADO	PROGRAMA	LEGISLAÇÃO	
AMAZONAS	Bolsa Floresta	Lei Complementar 53/2007 Lei Estadual 3.135/2007 Lei Estadual 3.184/2007 Decreto Estadual 26.958/2007	Sistema Estadual de Unidade de Conservação do Amazonas Política Estadual de Mudanças Climáticas Altera a Lei Estadual 3.135/2007 e dá outras providências. Bolsa Floresta do Governo do Estado do Amazonas
ACRE	Programa de Certificação	Lei Estadual 2.025/2008 Lei Estadual 2.308/2010	Programa Estadual de Certificação de Unidades Produtivas Familiares Sistema de Incentivos a Serviços Ambientais
ESPÍRITO SANTO	Programa de PSA	Lei Estadual 8.995/2008 Decreto Estadual 2.168-R/2008 Lei Estadual 9.607/2010	Programa de Pagamento por Serviços Ambientais Programa de Pagamento por Serviços Ambientais - Regulamento Altera e acrescenta dispositivos na Lei 8.995/2008.
MINAS GERAIS	Bolsa Verde	Lei Estadual 14.309/2002  Lei Estadual 17.727/2008  Decreto Estadual 45.113/2009	Política Florestal e de Proteção à Biodiversidade no Estado.  Concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros. Altera as Leis 13.199/1999 (Política Estadual de Recursos Hídricos) e 14.309/2002 . Normas para a concessão da Bolsa Verde.
PARANÁ	Programa Bioclima	Decreto Estadual 4.381/2012  Lei Estadual 17.134/2012	Programa de conservação e recuperação da biodiversidade, mitigação e adaptação às mudanças climáticas no Estado do Paraná.  PSA (em especial os prestados pela conservação da biodiversidade) integrantes do Programa Bioclima Paraná, bem como dispõe sobre o Biocrédito.
RIO DE JANEIRO	Conservação e Revitalização dos Recursos Hídricos	Lei Estadual 3.239/1999  Decreto Estadual 42.029/2011	Política Estadual de Recursos Hídricos.  Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos (Prohidro) (Regulamento), que estabelece o Programa Estadual de PSA (PRO-PSA) com previsões para florestas.
SANTA CATARINA	Programa de PSA	Lei Estadual 14.675/2009  Lei Estadual 15.133/2010	Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece o PSA como um instrumento econômico da Política Estadual de Meio Ambiente.  Política Estadual de Serviço Ambiental e Programa Estadual de PSA (PEPSA) (Regulamento).
SÃO PAULO	Programa de PSA previstos no Programa de Remanescentes Florestais	Lei Estadual 13.798/2009  Decreto Estadual 55.947/2010	Política Estadual de Mudanças Climáticas.  Política Estadual de Mudanças Climáticas (Regulamento) e Programa de Remanescentes Florestais, que inclui o PSA.

## ANEXO II

### **PROJETOS DE PSA IMPLANTADOS**



Serviço prestado	Fornecedor	Comprador	Instrumentos	Resultado esperado	Pagamento
<b>França: Pagamento do Grupo Perrier Vittel pela Qualidade da Água</b>					
Qualidade da água potável.	Fazendas de vacas leiteiras localizadas na parte alta da bacia e proprietários de floresta.	Engarrafamento de água mineral natural.	Pagamento por parte do engarrafador aos proprietários de terras na parte alta da bacia para melhorar as práticas agrícolas e o reflorestamento de áreas sensíveis para a filtração.	Reflorestamento, mas pouco impacto pois o programa centra-se na agricultura.	O Grupo Vittel paga a cada fazenda cerca de \$230 dólares por hectare po ano, durante sete anos. A empresa gastou uma média de \$155.000 dólares por fazenda ou um total de \$3,8 milhões de dólares.
<b>Costa Rica: Pagamento do FONAFIFO e da Usina Hidrelétrica pelos Serviços da Bacia Hidrográfica</b>					
Regularidade do fluxo de água para a hidroeletricidade.	Proprietários privados de terras localizadas na parte alta da bacia.	Usina hidrelétrica, Governo da Costa Rica e ONG local.	Pagamentos feitos pela companhia de serviços públicos através de uma ONG local aos proprietários de terra; pagamentos completados por fundos governamentais.	O aumento da cobertura florestal em terras privadas; expansão das florestas através da proteção e regeneração.	Proprietários rurais que protegem suas florestas recebem \$45 dólares/ha/ano; aqueles que administram suas florestas de forma sustentável recebem \$70 dólares/ha/ano, e aqueles que reflorestam suas terras recebem \$116 dólares/ha/ano.
<b>Colômbia: Pagamentos da Associação de Irrigadores (Rio Cauca)</b>					
Melhorias de fluxo de base e redução da sedimentação nos canais de irrigação.	Proprietários privados de áreas de florestas localizadas na parte alta da bacia.	Associação de irrigadores; agências de governo.	Pagamento voluntário de associações a agências do governo para os proprietários de terras na parte alta da bacia; compra de terra por parte das agências.	Reflorestamento, controle da erosão, proteção das nascentes e de cursos d'água, e desenvolvimento das comunidades da bacia hidrográfica.	Membros da associação pagam voluntariamente uma taxa de \$1,5 - 2 dólares por litro de água, além de uma taxa já existente de \$0,5 dólares por litro.
<b>Estados Unidos: Comércio de Nutrientes</b>					
Melhoria da qualidade da água.	Fonte contaminantes fixas cujas descargas são menores ao nível permitido; fontes contaminantes não fixas que reduzem seus níveis de contaminação.	Fontes poluidoras com nível de descarga maior do que o permitido.	Negociação da redução de créditos de nutrientes comercializáveis entre as fontes poluidoras industriais e agrícolas.	Impacto limitado sobre as florestas, principalmente na criação de árvores em áreas ribeirinhas.	Pagamentos de incentivo de \$5 a \$10 dólares por acre.
<b>Austrália: Irrigadores financiando o reflorestamento em áreas localizadas na parte alta da bacia</b>					
Redução da salinidade da água.	Florestas Estaduais em New South Wales (NSW).	Associação Agrícola de Irrigadores.	Créditos de transpiração da água, obtidos por Florestas Estaduais, para reflorestamento, e vendido a irrigadores.	Reflorestamento em larga escala, incluindo a fertilização de plantas dessalinizadas, árvores e outras vegetações perenes de raízes profundas.	Irrigadores pagam \$40 dólares por hectare por ano, durante 10 anos, para as Florestas Estaduais de NSW, um órgão do governo que utiliza as receitas para fazer reflorestamento em terras privadas e públicas, mantendo os direitos de manejo florestal.
<b>Canal do Panamá: Proteção das bacias hidrográficas</b>					
Proteção da bacia hidrográfica através de reflorestamento e mudanças nas práticas para evitar novos desmatamentos.	Agricultores e comunidades locais.	Utilizadores do canal dispostos a apoiar os agricultores e comunidades locais em troca da redução de altos preços de seguros.	Criação de um título das receitas que seriam direcionadas aos agricultores dispostos a alterar as suas práticas, e os compradores do título seriam os utilizadores do canal dispostos a apoiá-los em troca da redução de altos preços de seguro.	Reflorestamento e mudança nas práticas para evitar novos desmatamentos.	
<b>México: Preservação de florestas</b>					
Preservação das áreas de florestas e renúncia a determinadas atividades de agricultura e pecuária com foco nas áreas importantes para recarga dos aquíferos.	Proprietários de terras.	Governo Federal	Lei Federal destinou uma parcela das tarifas de água para conservação.	Manter a qualidade da água de superfície e reduzir a frequência e escala de danos das enchentes.	Um sistema de pontos é utilizado para priorizar as áreas de acordo com o valor do serviço ambiental, bem como o nível de pobreza e risco de desmatamento.

<b>Catskill - Nova York:</b>					
Proteção de mananciais.	Agricultores	Estado de Nova York; Cidade de Nova York; United States Environmental Protection Agency (EPA); Coalizão de 34 centros urbanos, 09 vilas, 05 municípios localizados a oeste do Rio Hudson; comunidades da bacia e <i>non-profit environmental organization</i> .	Memorandum of Agreement (MOA); Regulação das atividades e ocupação de espaços na bacia; Títulos do governo foram emitidos para levantar fundos que foram utilizados para aquisição de terras, compensação dos proprietários de terra para as restrições sobre o desenvolvimento e melhoria dos sistemas sépticos.	Garantir o abastecimento de água potável, diminuir a ameaça de danos causados pelas inundações, reduzir a erosão e melhorar o fluxo ecológico.	80.000 acres de terras foram compradas; os agricultores recebem reembolso para construção de cercas e pontes para manter o gado longe do curso d'água.
<b>Proambiente</b>					
Compatibilizar a conservação do meio ambiente aos processos de desenvolvimento rural.	Família rural	Governo Federal	Crédito Rural diferenciado , certificação dos serviços ambientais e sua remuneração.	Compatibilizar a conservação do meio ambiente aos processos de desenvolvimento rural, com aproveitamento social e econômico da terra, sob baixos riscos de degradação ambiental.	Atualmente, é passível de remuneração o desmatamento e degradação evitados, o incremento de boas práticas de conservação e restauração que resultem em aumento de estoque de carbono nas áreas analisadas.
<b>Bolsa Floresta</b>					
Preservação das florestas.	Moradores do Estado do Amazonas que residem em Unidades de Conservação.	Governo Estadual	Pagamento em espécie para as famílias que firmaram compromisso de conservação ambiental. Apoio ao desenvolvimento econômico das famílias que residem nas Unidades de Conservação, através das atividades como comércio de peixes, frutas, óleos vegetais, etc., de modo sustentável.	Manter o espaço de cultivo do mesmo tamanho ou tamanho inferior àquele do momento em que aderiram ao programa.	Pagamento em espécie.
<b>Produtor de águas</b>					
Proteção dos recursos hídricos.	Produtores Rurais na adoção de práticas e manejos sustentáveis.	Governo Federal	Princípio provedor-pagador.	Proteger os recursos hídricos, através de projetos de PSA que visem a redução da erosão e do assoreamento de mananciais no meio rural, melhorando a qualidade da água.	Apoio técnico e financeiro para viabilizar o PSA em ações como readequação de estradas vicinais, recuperação e proteção de nascentes, reflorestamento das áreas de proteção permanente, entre outros.
<b>Mina D'Água - Programa de Remanescentes Florestais</b>					
Proteção de nascentes	Proprietário Rural	Governo do Estado de São Paulo	Pagamento por Serviços Ambientais; incentivos econômicos à políticas voluntárias de redução do desmatamento e proteção ambiental.	Fomentar a delimitação, demarcação e recuperação de mata ciliar e outros tipos de fragmentos florestais.	Recursos financeiros previstos no Orçamento do Estado, transferência da União, cooperação internacional, conversão de multas por infrações ambientais, remuneração por sequestro de carbono no âmbito do programa e recursos do FEHIDRO e da cobrança pelo uso da água destinados pelo Comitê de Bacia e outros.

### ANEXO III

#### **AVADAN E CRONOGRAMA DE OBRAS EMERGENCIAIS**

**SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SINDEC**



**NOTIFICAÇÃO PRELIMINAR DE DESASTRE  
- NOPRED -**

15  
22792  
523  
6

<b>1 - Tipificação</b>		<b>Denominação</b>	<b>2 - Data de Ocorrência</b>			
<b>Código</b>			<b>Dia</b>	<b>Mês</b>	<b>Ano</b>	<b>Horário</b>
NE.HEX	12.302	Enxurradas ou Inundações Bruscas	14	12	2010	22:00:00

**3 - Localização**  
UF: RJ Município: Resende

**4 - Área Afetada**  
Zona Urbana - Ipiranga I e II, Jardim Brasília I e II, Barbosa Lima, Comercial, Centro, Jardim Jalisco, Manejo, Alvorada e Vila Julieta.  
Zona Rural - RJ 161 e Estradas Vicinais - RES-008, RES-009, RES-200, RES-202 e RES-203.

**5 - Causas do Desastre (Descrição do Evento e suas Características)**  
Em decorrência do elevado índice de precipitação pluviométrica nas cabeceiras dos rios que cortam os municípios de Arapeí(SP) e São José do Barreiro(SP), no período de 18:00 horas do dia 14/12/2010 à 01:00 hora do dia 15/12/2010, motivando, em função de seus deságues, a elevação do nível normal do rio Sesmarias(Resende-RJ) em mais de 3,50 metros de altura e ocasionando, entre 22:00 horas do dia 14/12/2010 e 05:00 horas da manhã do dia 15/12/2010 alagamentos e consequentemente destruição de drenagens, pavimentações, cabeceiras de pontes, e margens deste rio nos bairros e estradas do município de Resende.

<b>6 - Estimativa de Danos</b>	
<b>Danos Humanos</b>	<b>Danos Materiais</b>
<b>Número de Pessoas</b>	<b>Número de Edificações</b>
	<b>Danificadas</b>
Desalojadas	Residenciais
Desabrigadas	Públicas
Deslocadas	Comunitárias
Desaparecidas	Particulares
Mortas	Serviços Essenciais
Enfermas	Intensidade do Dano
Levemente Feridas	<b>Danificadas</b>
Gravemente Feridas	<b>Destruidas</b>
Afetadas	

**7 - Instituição Informante**  
PREFEITURA MUNICIPAL DE RESENDE

<b>Nome do Informante</b>	<b>Cargo</b>	<b>Assinatura / Carimbo</b>	<b>Telefone</b> (24) 3360-9260
MARCO ANTONIO DE RESENDE PASSOS	DIRETOR DE DEFESA CIVIL		
		Marco Antonio de Resende Passos Coordenador de Defesa Civil Resende - RJ Mat.: 17.207	

**8 - Instituições Informadas**  
Departamento Geral de Defesa Civil / RJ - DGDEC

SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL - SEDEC Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" - 7º Andar Brasília/DF 70067-901	Telefones - (061) 3414 - 5805 (061) 3414 - 5943 (061) 3414 - 5803 Telefax - (061) 3226 - 7588
---	--



SISTEMA NACIONAL DE DEFESA CIVIL-SINDEC



AVALIAÇÃO DE DANOS - AVADAN

16  
22492  
524  
6

1 - Tipificação		Denominação
Código		
NE-HEX	12.302	Enxurradas ou Inundações Bruscas

2 - Data de Ocorrência			
Dia	Mês	Ano	Horário
14	12	2010	22:00

3 - Localização	
UF: RJ	Município: Resende

4 - Área Afetada Tipo de Ocupação	Não existe/ Não afetada	Urban a	Rural	Urbana e Rural
Residencial	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Comercial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Industrial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agrícola	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pecuária	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Extrativismo Vegetal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reserva Florestal ou APA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mineração	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Turismo e outras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Descrição da Área Afetada**

Zona Urbana - Ipiranga I e II, Jardim Brasília I e II, Barbosa Lima, Comercial, Centro, Jardim Jalisco, Manejo, Alvorada e Vila Julieta.

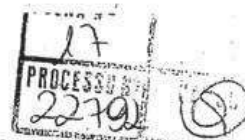
Zona Rural - RJ 161 e Estradas Vicinais - RES-008, RES-009, RES-200, RES-202 e RES-203.

**5 - Causas do Desastre (Descrição do Evento e suas Características)**

Em decorrência do elevado índice de precipitação pluviométrica nas cabeceiras dos rios que cortam os municípios de Arapeí(SP) e São José do Barreiro(SP), no período de 18:00 horas do dia 14/12/2010 à 01:00 hora do dia 15/12/2010, motivando, em função de seus deságues, a elevação do nível normal do rio Sesmarias(Resende-RJ) em mais de 3,50 metros de altura e ocasionando, entre 22:00 horas do dia 14/12/2010 e 05:00 horas da manhã do dia 15/12/2010 alagamentos e consequentemente destruição de drenagens, pavimentações, cabeceiras de pontes, e margens deste rio nos bairros e estradas do município de Resende.

*[Assinatura]*





6 - Danos Humanos	0 a 14 anos	15 a 64 anos	Acima de 65 anos	Gestante	Total
Número de Pessoas					
Desalojadas	65	483	77	05	630
Desabrigadas	-	-	-	-	-
Deslocadas	-	-	-	-	-
Desaparecidas	-	-	-	-	-
Levemente Feridas	-	-	-	-	-
Gravemente Feridas	-	-	-	-	-
Enfermas	-	-	-	-	-
Mortas	-	-	-	-	-
Afetadas	4.200	43.500	7.190	110	55.000

7 - Danos Materiais	Danificadas		Destruidas		Total
Edificações	Quantidade	Mil R\$	Quantidade	Mil R\$	Mil R\$
Residenciais Populares	20	22,80	5	20	42,80
Residenciais - Outras	170	125,60	-	-	125,60
Públicas de Saúde	-	-	-	-	-
Públicas de Ensino	-	-	-	-	-
Infra-Estrutura Pública					
Obras de Arte	01	240	02	1250	1490
Estradas (Km)	80	705	40	550	1255
Pavimentação de Vias Urbanas (Mil m <sup>2</sup> )	56	87,4	-	-	87,4
Outras	8	230	12	760	980
Comunitárias	2	76	-	-	76
Particulares de Saúde	-	-	-	-	-
Particulares de Ensino	-	-	-	-	-
Rurais	-	-	-	-	-
Industriais	-	-	-	-	-
Comerciais	7	550	-	-	-

8 - Danos Ambientais



Recursos Naturais	Intensidade do Dano					Valor Mil R\$
Água	Sem Danos	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	-
Esgotos Sanitários	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	60
Efluentes Industriais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Resíduos Químicos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Outros - drenagem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1500
Solo	Sem Danos	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	-
Erosão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	185
Deslizamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	53
Contaminação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Outros - Assoreamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	550
Air	Sem Danos	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	-
Gases Tóxicos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Partículas em suspensão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Radioatividade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Outros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Flora	Sem Danos	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	-
Desmatamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Queimada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Outros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Fauna	Sem Danos	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	-
Caça Predatória	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-
Outros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-

## 9 - Prejuízos Econômicos

Setores da Economia	Quantidade	Valor
<b>Agricultura</b>	<b>Produção</b>	<b>Mil R\$</b>
Grãos/cereais/leguminosas	- t	-
Fruticultura	- t	-
Horticultura	6 t	12
Silvicultura/Extrativismo	- t	-
Comercial	- t	-
Outras	- t	-
<b>Pecuária</b>	<b>Cabeças</b>	<b>Mil R\$</b>
Grande porte	- unid	-
Pequeno porte	- unid	-
Avicultura	- unid	-
Piscicultura	- mil unid	-
Outros	- unid	-
<b>Indústria</b>	<b>Produção</b>	<b>Mil R\$</b>
Extração Mineral	- unid	-
Transformação	- unid	-
Construção	- unid	-
Outros	- unid	-
<b>Serviços</b>	<b>Prest de Serviço</b>	<b>Mil R\$</b>



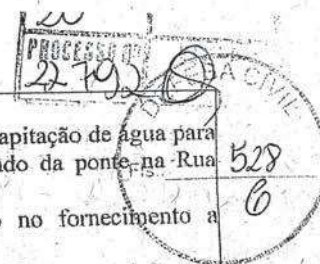
### Descrição dos prejuízos econômicos

**Abastecimento d'água** – O aumento do nível e a força das águas fluviais destruíram as redes de captação de água para a Estação de tratamento (ETA) no bairro Ipiranga e destruição de tubulação que passa ao lado da ponte na Rua Saturnino Braga causando o desabastecimento parcial do município, sendo:

**Energia elétrica** – Houve um colapso na rede de energia elétrica acarretando interrupção no fornecimento a aproximadamente 180 residências, danificando equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos.

**Transporte** – Solapamento das margens dos rios afetando pontes e ruas a beira rio e erosão do solo nas estradas rurais acarretaram em interrupções no sistema de transporte, fazendo com que os automóveis particulares, ônibus e transportes escolares e de carga utilizassem acessos alternativos para chegarem aos seus destinos.

**Rede de Comunicação** – Houve um colapso na rede de comunicação fixa e móvel acarretando a interrupção da comunicação nos bairros atingidos.



### 11 – Informações sobre o Município

Ano Atual		Ano Anterior	
População (hab):	Orçamento (Mil R\$):	PIB (Mil R\$):	Arrecadação (Mil R\$):
119.801	209.781	4.228(2007)	221.788

### 12 - Avaliação Conclusiva sobre a Intensidade do Desastre (Ponderação)

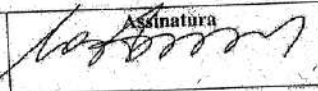
Critérios Preponderantes Intensidade dos Danos	Pouco Importante	Médio ou Significativo	Importante	Muito Importante
Humanos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Materiais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ambientais	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vulto dos Prejuízos	Pouco Importante	Médio ou Significativo	Importante	Muito Importante
Econômicos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sociais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Necessidade de Recursos Suplementares	Pouco Vultosos	Médiamente Vultosos ou Significativos	Vultosos porém Disponíveis	Muito Vultosos e Não Disponíveis no SINDEC
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Crítérios Agravantes	Pouco Importante	Médio ou Significativo	Importante	Muito Importante
Importância dos Desastres Secundários	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Despreparo da Defesa Civil Local	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grav de Vulnerabilidade do Cenário	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Grav de Vulnerabilidade da Comunidade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Padrão Evolutivo do Desastre	Gradual e Previsível	Gradual e Imprevisível	Súbito e Previsível	Súbito e Imprevisível
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Tendência para agravamento	Não			Sim
	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>



2219 d 1 8

<b>Conclusão</b>	I Pequeno ou Acidente <input type="checkbox"/>	II Médio <input checked="" type="checkbox"/>	III Grande <input type="checkbox"/>	IV Muito Grande <input type="checkbox"/>
Nível de Intensidade do Desastre				
Porte do Desastre				

529  
0

13 - Instituição Informante		Responsável			
Nome da Instituição DIRETORIA DE DEFESA CIVIL		MARCO ANTONIO DE RESENDE PASSOS			
Cargo DIRETOR	Assinatura 	Telefone (24) 3360-9260	Dia 15	Mês 12	Ano. 2010

#### 14 - Instituições Informadas

Departamento Geral de Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro

#### 15 - Informações Complementares

Moeda utilizada no preenchimento: REAL / Taxa de conversão para o Dólar Americano: 1.6970

SECRETARIA DE DEFESA CIVIL - SEDEC Esplanada dos Ministérios - Bloco "E" - 7º Andar Brasília/DF 70067-901	Telefones - (061) 3414 - 5805 (061) 3414 - 5943 (061) 3414 - 5803 Telefax - (061) 3226 - 7588
--	--



PREFEITURA DE

**Resende****Secretaria Municipal de Obras****CRONOGRAMA FÍSICO - FINANCEIRO**

ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR TOTAL DO ITEM	1º MÊS		2º MÊS		3º MÊS	
			CONCEDENTE	CONVENIENTE	CONCEDENTE	CONVENIENTE	CONCEDENTE	CONVENIENTE
1	MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO	62.561,41	50%				50%	
2	GABIÃO	2.120.469,99	41,66%		29,18%		31.280,71	
3	DRAGAGEM	1.410.584,13	883.387,80		618.753,14		29,16%	
4	PAVIMENTAÇÃO	555.053,09	59,12%		22,30%		618.329,05	
5	DRENAGEM	204.976,11	833.993,50		314.574,84		18,57%	
6	MURO DE CONTENÇÃO	1.081.254,31	32,98%		23,65%		262.015,79	
			183.056,51		131.272,33		43,37%	
				31,52%			240.724,25	
				64.601,80			2,09%	33,19%
			6,32%	6,97%	40,27%	68.056,84	4.285,49	68.031,98
			68.281,49	75.398,20	435.399,69	7,34%	31,76%	7,34%
						79.392,68	343.364,72	79.417,53
TOTAL P/ MÊS (DESEMBOLSO)			2.000.000,00	140.000,00	1.500.000,00	147.449,52	1.500.000,00	147.449,51
				2.140.000,00		1.647.449,52		1.647.449,51
TOTAL								5.434.899,04

FOLHA Nº

PROCESSO Nº

583

*Almeida*

Sébastien Balieiro de Almeida

Engenheiro Civil

CREA nº 84-1-00395-6-D

11/08/2018

11/08/2018

















## **ANEXO IV**

### **RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DA BACIA DO RIO SESMARIA**



Pontes sobre o Rio Sesmaria	
	
	
	
	
	
	



## Erosões nas margens e nas encostas





## Assoreamentos, bancos de areia e dragagens





**Obras de contenção de margens e ocupações da calha do rio**





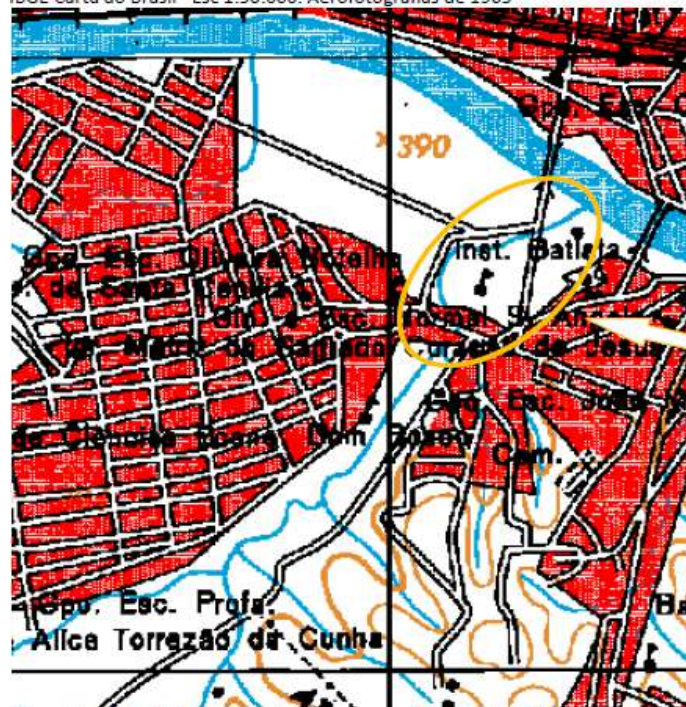
# Obras de contenção de margens e ocupações da calha do rio





## ANEXO V - AEROFOTOGRAFIA

IBGE Carta do Brasil – Esc 1:50.000. Aerofotografias de 1965



Aerofotografia do Rio Sesmária 1965  
Fonte: IBGE (1965)

Observa-se que a calha principal do rio e parte da área da calha secundária continham poucas ocupações no levantamento do IBGE de 1965. A demarcação da LMEO do Rio Paraíba do Sul permite que se observe a ocupação e urbanização de áreas que antes permitiam o extravazamento das enchentes ordinárias e das com baixo TR. É importante ressaltar que na época das aerofotografias de 1965 estavam em vigor os ditames da lei Imperial nº 1507 de 26/09/1867 e em 15/09/1965 era promulgada a Lei nº 4771 – Código Florestal



Aerofotografia do Rio Sesmária - 2009  
Fonte: SECRETARIA DO PATRIMÔNIO DA UNIÃO (2009)

## ANEXO VI

### **ITENS DANIFICADOS COM INUNDAÇÕES**

**Lâmina d'água maior ou igual a 0,50 m e menor que 0,75m.**

<i>Cômodo</i>	<i>Item</i>	<i>R\$</i>
Sala de Estar	Sofá de 2 lugares	400,00
	Sofá de 3 lugares	420,00
	Mesa de centro	70,00
	Estante	230,00
	Armário baixo (rack)	152,00
	Rack do computador	97,00
	Mesinha	50,00
Sala de Jantar	Conjunto de mesa e 6 cadeiras	400,00
	Armário baixo (buffet)	188,00
Quarto de casal	Cama de casal	180,00
	Armário duplex	600,00
	Cômoda	130,00
	Telefone	40,00
	Mesa de cabeceira (2 unid)	124,00
Quarto de solteiro	Cama de solteiro	180,00
	Armário duplex	600,00
	Cômoda	130,00
	Mesa de cabeceira	62,00
	Mesa de estudo	100,00
	Cadeira	100,00
Cozinha	Armário de cozinha balcão	150,00
	Armário de cozinha paineleiro	150,00
	Conjunto de mesa e 4 cadeiras	230,00
	Geladeira	1000,00
	Freezer	930,00
Área de Serviço	Lavadora de roupas	700,00
	SOMA	7413,00
	Depreciação de 50%	3706,50
	Acréscimo de 15% roupas e alimentos	1111,95
	<b>TOTAL</b>	<b>4818,45</b>

**Lâmina d'água maior ou igual a 0,75m e menor que 1m.**

<i>Cômodo</i>	<i>Item</i>	<i>R\$</i>
Sala de Estar	Sofá de 2 lugares	400,00
	Sofá de 3 lugares	420,00
	Mesa de centro	70,00
	Estante	230,00
	Armário baixo (rack)	152,00
	Ar condicionado	890,00
	Rack do computador	97,00
	Mesinha	50,00
Sala de Jantar	Conjunto de mesa e 6 cadeiras	400,00
	Armário baixo (buffet)	188,00
Quarto de casal	Cama de casal	180,00
	Colchão de casal	400,00
	Armário duplex	600,00
	Cômoda	130,00
	Telefone	40,00
	Mesa de cabeceira (2 unid)	124,00
Quarto de solteiro	Cama de solteiro	180,00
	Colchão de solteiro	100,00
	Armário duplex	600,00
	Cômoda	130,00
	Mesa de cabeceira	62,00
	Mesa de estudo	100,00
	Cadeira	100,00
Cozinha	Armário de cozinha balcão	150,00
	Armário de cozinha paineleiro	150,00
	Conjunto de mesa e 4 cadeiras	230,00
	Geladeira	1000,00
	Freezer	930,00
	Lavadora de louças	950,00
	Cafeteira	50,00
Área de Serviço	Lavadora de roupas	700,00
	SOMA	9803,00
	Depreciação de 50%	4901,50
	Acréscimo de 15% roupas e alimentos	1470,45
	<b>TOTAL</b>	<b>6371,95</b>

**Lâmina d'água maior ou igual a 1m e menor que 1,5m.**

<i>Cômodo</i>	<i>Item</i>	<i>R\$</i>
Sala de Estar	Sofá de 2 lugares	400,00
	Sofá de 3 lugares	420,00
	Mesa de centro	70,00
	Estante	230,00
	Armário baixo (rack)	152,00
	Ar condicionado	890,00
	Ventilador	50,00
	Televisão 29" 1,00 a 1,50	1190,00
	DVD	100,00
	Micro system	270,00
	Micro computador	617,00
	Rack do computador	97,00
	Mesinha	50,00
	Telefone	40,00
	Luminária de mesa	30,00
Sala de Jantar	Conjunto de mesa e 6 cadeiras	400,00
	Armário baixo (buffet)	188,00
Quarto de casal	Cama de casal	180,00
	Colchão de casal	400,00
	Armário duplex	600,00
	TV 20"	600,00
	Cômoda	130,00
	Telefone	40,00
	Mesa de cabeceira (2 unid)	124,00
	Luminária de mesa	30,00
Quarto de solteiro	Rádio relógio	50,00
	Cama de solteiro	180,00
	Colchão de solteiro	100,00
	Armário duplex	600,00
	Cômoda	130,00
	Mesa de cabeceira	62,00
	Luminária de mesa	30,00
	Rádio relógio	50,00
	Mesa de estudo	100,00
	Cadeira	100,00
Cozinha	Armário de cozinha balcão	150,00
	Armário de cozinha paneleiro	150,00
	Conjunto de mesa e 4 cadeiras	230,00
	Fogão	300,00
	Forno elétrico	80,00
	Microondas	300,00
	Geladeira	1000,00
	Freezer	930,00
	Torradeira	40,00
	Liquidificador	50,00
	Batedeira	55,00
	Lavadora de louças	950,00
	Cafeteira	50,00
Área de Serviço	Lavadora de roupas	700,00
	SOMA	13685,00
	Depreciação de 50%	6842,50
	Acréscimo de 15% roupas e alimentos	2052,75
	<b>TOTAL</b>	<b>8895,25</b>

**Lâmina d'água maior ou igual a 1,5m e menor que 2m.**

<i>Cômodo</i>	<i>Item</i>	<i>R\$</i>
Sala de Estar	Sofá de 2 lugares	400,00
	Sofá de 3 lugares	420,00
	Mesa de centro	70,00
	Estante	230,00
	Armário baixo (rack)	152,00
	Ar condicionado	890,00
	Ventilador	50,00
	Televisão 29" 1,00 a 1,50	1190,00
	DVD	100,00
	Micro system	270,00
	Micro computador	617,00
	Rack do computador	97,00
	Mesinha	50,00
	Telefone	40,00
	Luminária de mesa	30,00
Sala de Jantar	Conjunto de mesa e 6 cadeiras	400,00
	Armário baixo (buffet)	188,00
Quarto de casal	Cama de casal	180,00
	Colchão de casal	400,00
	Armário duplex	600,00
	TV 20"	600,00
	Cômoda	130,00
	Telefone	40,00
	Mesa de cabeceira (2 unid)	124,00
	Luminária de mesa	30,00
	Rádio relógio	50,00
Quarto de solteiro	Cama de solteiro	180,00
	Colchão de solteiro	100,00
	Armário duplex	600,00
	Cômoda	130,00
	Mesa de cabeceira	62,00
	Luminária de mesa	30,00
	Rádio relógio	50,00
	Mesa de estudo	100,00
	Cadeira	100,00
	Ventilador	50,00
Cozinha	Armário de cozinha balcão	150,00
	Armário de cozinha paineleiro	150,00
	Armário de cozinha parede	100,00
	Conjunto de mesa e 4 cadeiras	230,00
	Fogão	300,00
	Depurador	170,00

	Forno elétrico	80,00
	Microondas	300,00
	Geladeira	1000,00
	Freezer	930,00
	Torradeira	40,00
	Liquidificador	50,00
	Batedeira	55,00
	Lavadora de louças	950,00
	Cafeteira	50,00
Área de Serviço	Lavadora de roupas	700,00
	Ferro de passar roupas	40,00
	Aspirador de pó	130,00
	SOMA	14175,00
	Depreciação de 50%	7087,50
	Acréscimo de 15% roupas e alimentos	2126,25
	<b>TOTAL</b>	<b>9213,75</b>



## **ANEXO VII - BENEFÍCIOS DO REFLORESTAMENTO/REVEGETAÇÃO NATURAL**

FUNÇÃO DO ECOSISTEMA	COMPONENTES E PROCESSOS DO ECOSISTEMA	BENEFÍCIOS
<b><i>Funções Regulatórias</i></b>		
Equilíbrio do Ciclo do Carbono	Regulador no processo biogeoquímico; Promove a qualidade e fertilidade do solo influenciando na cobertura vegetal e nos processos biológicos.	Proteção dos raios Ultra Violeta B; Manutenção da qualidade do ar, da qualidade e fertilidade do solo, da produtividade vegetal e o equilíbrio do clima.
Prevenção de distúrbios	Influência na estrutura do sistema de amortecimento dos distúrbios ambientais.	Proteção de tempestades e redução de inundação.
Regulação de água	Papel da cobertura da terra na regulação do escoamento da água de superfície, da infiltração e descarga do rio.	Irrigação e drenagem natural, redução de inundações e recarga da água subterrânea.
Regulação do solo	Vegetação, raízes, serapilheira, biota do solo e matéria orgânica.	Contribui para a disponibilidade hídrica e qualidade da água, a fertilidade e qualidade do solo, a retenção hídrica, controle de erosão e enchentes, polinização e conservação da biodiversidade.
Ciclagem de nutrientes	Suporte ao processo natural necessário para outros serviços ambientais como fertilidade do solo, a produtividade vegetal e o equilíbrio do clima.	Manutenção da produtividade dos ecossistemas e sua diversidade.
<b><i>Funções do Habitat</i></b>		
Fauna edáfica/ biodiversidade do solo	Espaço adequado para plantas e animais.	Água disponível no solo; efeitos no crescimento das plantas, produção de biomassa vegetal e animal; produtos farmacêuticos; ciclagem de nutrientes e dinâmica da decomposição da matéria orgânica, inclusive, sequestro de carbono; formação dos solos; conservação da biodiversidade; controle de erosão e enchentes; polinização; dispersão de sementes; tratamento de resíduos (por decomposição de resíduos ou degradação de pesticidas); recreação (isca para pescar); e educação ambiental (manejo das terras e culturas agrícolas).
Fonte: Adaptado de HEAL et. al (2005) e DE GROOT et. al (2002)		